

Interfaz de Control de un Robot Aéreo Quadrotor. Aplicación a un Sistema de Detección de Incendios

N. Hernández, M. Ocaña, D. Pizarro, L.M. Bergasa, M.A. Sotelo, R. Barea, E. López, F. Herranz
Departamento de Electrónica, Universidad de Alcalá,
Escuela Politécnica, Alcalá de Henares, Madrid (España)

Email: {noelia.hernandez,mocana,pizarro,bergasa,sotelo,barea,elena,fernando.herranz}@depeca.uah.es

Abstract—En este trabajo se describe el desarrollo de un interfaz para controlar un robot aéreo quadrotor y su aplicación a la detección de incendios. Se desarrolla una aplicación para PC que utiliza una conexión con el mando de radio control, siendo éste el encargado de mandar la información al helicóptero. Además, se trabaja con el robot en un entorno inteligente que proporciona su posición en todo momento. Para la detección de incendios se toman imágenes con una cámara de vídeo inalámbrica colocada en el propio helicóptero para analizarlas con técnicas de visión artificial. El método propuesto ha sido probado en un entorno y con unas condiciones reales del mismo. Se presentan los resultados y conclusiones obtenidos en el trabajo.

I. INTRODUCCIÓN

Conforme el mundo se vuelve más complejo, surge la necesidad de utilizar los recursos humanos y materiales de forma más eficiente. Para conseguirlo se comienzan a automatizar tareas, utilizando para ello la ayuda de robots.

Gracias a ellos es posible realizar tareas que de otro modo serían más costosas o peligrosas. Así nos apoyamos en robots para resolver cálculos complejos, realizar labores de mantenimiento, etc.

Recientes avances tecnológicos, como la miniaturización de sensores y componentes electrónicos, han impulsado el interés por la construcción de sistemas autónomos o semi-autónomos para la realización de estas tareas.

Aunque habitualmente esta clase de sistemas se suele relacionar con sistemas para aplicaciones militares, en la actualidad este tipo de robots se han podido introducir en campos civiles.

Entre estos sistemas se encuentran los robots aéreos, robots que en la actualidad se están empleando con gran interés debido a la versatilidad de sus aplicaciones. Estas tareas son facilitadas por la posibilidad de incluir en los robots aéreos otros sistemas tales como GPS, cámaras de vídeo, sensores y sistemas de comunicación entre robot y controlador, etc.

Varios grupos de investigación están trabajando en el desarrollo de robots aéreos en interiores. Esta investigación viene estimulada por las grandes posibilidades que se conseguirán al solucionar este problema, aplicando el uso de estos robots a la búsqueda en edificios parcialmente derrumbados, detección de incendios, etc.

Uno de los grupos de investigación que están trabajando en este campo es el “Aerospace Controls Laboratory” del MIT (Massachusetts Institute of Technology) con el proyecto “UAV SWARM Health Management” [1]. Este proyecto investiga

técnicas para conseguir la ejecución en continuo (24 horas - 7 días) de múltiples vehículos autónomos en un entorno dinámico.

Existen varios tipos de robots que podrían utilizarse para este fin. Los aviones ligeros tienen el problema de necesitar una gran cantidad de espacio para girar ya que no son capaces de realizar un giro sobre sí mismos, por lo que su manejo en interiores se hace muy complicado [2] [3].

También se busca utilizar robots con micro-alas mecánicas que imitan el vuelo de un insecto, estos robots pueden llegar a ser muy pequeños, sin embargo los esquemas de control resultan extremadamente complejos [4] [5].

Por último, los helicópteros tradicionales tienen el problema de su complicación de manejo. Frente a ellos están los robots de cuatro rotores con los que se puede conseguir precisión de vuelo balanceando la fuerza en sus motores. Estos robots son atractivos ya que es más sencillo conseguir estabilidad de vuelo, siendo a su vez más seguros.

En el trabajo [6] se busca calcular el tiempo óptimo de control de un helicóptero de cuatro rotores. Para ello se trata como una variable el periodo de muestreo en el proceso de optimización. La optimización busca reducir al mínimo el periodo de muestreo de forma que esté por debajo de un determinado valor mínimo, que se fija de antemano teniendo en cuenta la exactitud de la discretización. Con el método propuesto se puede encontrar un tiempo óptimo de control del helicóptero.

En este trabajo se describe el manejo mediante un PC de un helicóptero de cuatro rotores. Para ello se hace uso de un entorno inteligente que proporciona en todo momento el posicionamiento del robot (situación en el espacio y ángulos respecto al eje de referencia). Además, se describe la aplicación para detección de incendios basada en una cámara inalámbrica de bajo coste que se encuentra a bordo del quadrotor y en el trabajo [7] en el que se propone un método basado en la detección de incendios a partir de imágenes obtenidas con una cámara ordinaria.

Este trabajo se organiza de la siguiente manera: el apartado 2 describe el procedimiento de comunicación entre PC y robot, el apartado 3 muestra el sistema de comunicación con el entorno inteligente, en el apartado 4 se describe el algoritmo para detección de incendios y en el apartado 5 se describe la interfaz de control. Por último en el apartado 6 proporciona una descripción de los resultados obtenidos y finalmente en el

apartado 7 se muestran las conclusiones y las posibles líneas de trabajo a seguir.

II. COMUNICACIÓN PC - ROBOT

En esta sección se realiza una descripción del método utilizado para realizar la comunicación entre PC y helicóptero.

El robot escogido para la realización de este trabajo es el DraganFlyer V Ti Pro (figura 1), un helicóptero de cuatro rotores manejado por radio control disponible en RCToys [8].



Fig. 1. DraganFlyer V Ti Pro

Para realizar la comunicación PC - robot se puede optar por:

1. Diseñar un transmisor de radiofrecuencia que se comunique directamente con el helicóptero, lo que implicaría un diseño diferente y adaptado a cada tipo de helicóptero.
2. Utilizar el propio mando de radio control del robot que en la mayoría de los casos tiene un puerto que permite, entre otras cosas, su conexión a un PC.

Para el desarrollo de este trabajo se ha optado por realizar la comunicación con el PC a través del mando de radio control, ya que es la opción más fiable al saber de antemano que el helicóptero responderá bien a las señales enviadas desde éste.

El puerto utilizado para comunicar el PC con el radio control se suele usar para enseñar a un nuevo usuario a controlar el helicóptero de forma segura. Para ello se conectan los mandos del principiante y del instructor a través de sus puertos "trainer" de forma que si el aprendiz pierde el control del helicóptero, el instructor puede retomar el control rápidamente. Así el transmisor del aprendiz envía la señal a través del cable siendo el mando del instructor el que emite la señal de radio independientemente de cual tenga el control en ese momento. Este control está determinado por un switch en el mando del instructor de forma que mantendrá el control mientras éste no sea pulsado, momento en el que el control pasará al aprendiz.

El cable Endurance R/C PCTx [9] permite la comunicación entre PC y mando, de forma que el mando pueda funcionar como instructor y el PC como aprendiz. Con él es posible el envío de información al mando de radio control desde el PC.

De esta forma es posible enviar hasta nueve valores para los distintos canales del radio control conectado, estos valores

se corresponden con las distintas posiciones de cada uno de sus ejes. En este trabajo el mando utilizado, Hitec Optic 6, es un mando de seis canales por lo que los valores enviados para los canales siete, ocho y nueve son irrelevantes.

Así los seis canales utilizados se corresponden con las siguientes funciones:

- Canal 1: Movimiento de roll. Función del movimiento horizontal del segundo eje del radio control.
- Canal 2: Movimiento de pitch. Función del movimiento vertical del segundo eje del radio control.
- Canal 3: Ascenso y descenso. Función del movimiento vertical del primer eje del radio control.
- Canal 4: Movimiento de yaw. Función del movimiento horizontal del primer eje del radio control.
- Canal 5: No se utiliza para el control del helicóptero.
- Canal 6: No se utiliza para el control del helicóptero.

Los rangos de valores de cada canal varían para cada modelo de radio control y de robot, por lo que es necesario determinarlos, como se verá en la sección de resultados.

III. ENTORNO INTELIGENTE

Para obtener la posición del helicóptero se hace uso del entorno inteligente de los trabajos [10] [11].

El entorno inteligente se compone de un conjunto de cámaras fijas, cuya información visual es accesible por un sistema de nodos de procesamiento de imagen a través de una red de comunicaciones (figura 2).

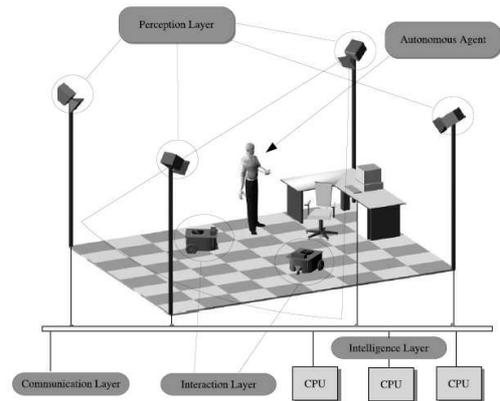


Fig. 2. Entorno Inteligente

La estructura de procesamiento de la imagen sigue un esquema jerárquico en el cual cada par de cámaras se encuentra conectado a un mismo nodo de procesamiento a través de una red local de alta velocidad (Firewire).

Cada nodo realiza el procesamiento de bajo nivel extrayendo sólo la información relevante de cada imagen en cada instante de tiempo.

El conjunto de nodos se conectan entre sí a través de una LAN (red de área local) ethernet. Estos nodos se conectan, además, con un nodo cliente con el objetivo de fundir la información obtenida por cada cámara y convertirla en información específica para la tarea asignada, en este proyecto posicionamiento.

De este modo, tan solo la información importante previamente filtrada y comprimida, es compartida por los nodos a través de la red, lo que permite reducir el flujo de información compartida.

El conjunto de cámaras debe estar calibrado, lo cual implica el conocimiento preciso de los parámetros que describen el modelo matemático de proyección de las cámaras (modelo "pin-hole"), su posición y orientación espacial con respecto a un origen de coordenadas fijo y conocido en el entorno inteligente.

La calibración de las cámaras es fundamental para la obtención de la posición del objeto (helicóptero) que se encuentra en el espacio inteligente. A su vez la adquisición de la imagen en el conjunto de cámaras está sincronizada en el tiempo por el conjunto de nodos, lo cual es imprescindible para que la fusión de información resulte coherente.

Se plantea un sistema de posicionamiento de robots aéreos en el cual el objeto a posicionar dispone de un conjunto de marcas artificiales en su estructura, que permiten su detección sencilla mediante el conjunto de cámaras del entorno inteligente. Las marcas utilizadas se disponen en el eje de los rotores delantero (color naranja) y trasero (color rojo) con lo que se consigue ubicarlas en un mismo plano como se puede ver en la figura 3.



Fig. 3. Marcas en la estructura del helicóptero

En cada cámara, un sencillo sistema de detección obtiene la posición de cada marca en el plano imagen. Mediante dicha información visual y conociendo a priori las distancias "métricas" que existen entre las marcas utilizadas en el robot, el entorno inteligente obtiene la posición en el espacio y la orientación tridimensional del objeto.

El algoritmo se basa en encontrar el plano tridimensional que describe a las marcas dispuestas en el robot a partir de la medida en el plano imagen de las mismas.

El número mínimo de cámaras para obtener la pose (posición y orientación) del objeto mediante esta técnica se reduce a una sola, sin embargo el uso de varias cámaras disminuye el error obtenido considerablemente.

El sistema de posicionamiento así planteado permite del mismo modo la detección de múltiples robots siempre y

cuando dotemos al sistema de un proceso de identificación con el cual resolver la identidad de cada uno.

IV. DETECCIÓN DE INCENDIOS

Una de las posibles aplicaciones de los robots aéreos es la de detectar incendios. Para llevar a cabo esta tarea, se crea una aplicación basada en una cámara de bajo coste que se encuentra a bordo del quadrotor.

Para llevar a cabo esta tarea en edificios habitualmente se utilizan detectores de fuego y humo tradicionales, que detectan la presencia de determinadas partículas, haciendo saltar la alarma.

Sin embargo este tipo de sensores no pueden ser utilizados, por ejemplo, en zonas abiertas. En estos casos puede recurrirse al uso de cámaras térmicas, que detectan el espectro electromagnético infrarrojo, coloreando la imagen recogida dependiendo de la temperatura de las superficies.

El principal problema de este tipo de cámaras es, además de su peso y tamaño, el precio que hace que sea imposible su uso para detectar incendios mediante un robot aéreo de este tipo.

Mediante el uso de cámaras de video tradicionales y sistemas de visión artificial es posible realizar ésta misma tarea, con las ventajas, precio y tamaño, que este tipo de cámaras conlleva.

En el trabajo [7] se propone un método basado en la detección de incendios a partir de imágenes obtenidas con una cámara ordinaria.

Con este método se realiza un análisis de color y movimiento de la llama. Además sus movimientos casi periódicos se pueden detectar mediante un análisis temporal, mientras que las variaciones de color en las regiones de la llama se detectan con análisis espacial.

Añadiendo los análisis wavelet se reduce drásticamente el número de falsas alarmas en comparación con otros métodos que únicamente aplican análisis de color y movimiento.

El algoritmo se basa en cuatro pasos fundamentales:

1. Detección de regiones en movimiento:

Las regiones en movimiento de la imagen se calculan estimando el brillo de los píxeles de una imagen y comparándolos con los brillos de esos mismos píxeles para una imagen anterior de una secuencia.

Así interesa prestar especial atención a los píxeles en movimiento.

2. Detección de píxeles color fuego:

Los píxeles seleccionados en el paso anterior pasan a compararse con una distribución de colores que se consideran pertenecientes al fuego. Esta distribución de colores se obtiene de imágenes con ejemplos de fuego. Para obtener el mayor rango posible de colores de fuego con los que comparar se crean unas esferas en torno a los píxeles escogidos.

Se seleccionan aquellos píxeles cuyo color se encuentre dentro de las esferas creadas.

3. Análisis Wavelet temporal:

El tercer paso del algoritmo analiza el historial de frecuencia de los píxeles seleccionados en los pasos anteriores.

En este análisis se buscarán las oscilaciones características del fuego, pasando para ello cada píxel por un filtro de dos fases.

4. Análisis wavelet espacial:

El último paso del algoritmo busca comparar los píxeles de las regiones detectadas hasta ahora con los demás píxeles de la región para buscar aquellas en las que existan cambios significativos.

En este trabajo se ha utilizado y ampliado el paso 2, omitiendo el primero por considerar que no tiene sentido tratar de detectar regiones en movimiento ya que las imágenes se toman desde un helicóptero en marcha. Así mismo no se han realizado los pasos 3 y 4, ya que suponen un coste computacional elevado y los resultados obtenidos han sido satisfactorios para la aplicación, como se verá en la sección de resultados.

V. INTERFAZ DE CONTROL

Para conseguir una mayor facilidad y realismo en el manejo del robot se está trabajando en el desarrollo de un simulador de vuelo basándose en el simulador "Helico Flight Simulator" [12] (figura 4). Con él, el control del helicóptero se podrá realizar desde puntos sin visibilidad directa de forma que sea posible saber en todo momento en que posición, dentro de la sala del entorno inteligente, se encuentra. Este simulador está desarrollado en Visual C++ con OpenGL.

Es necesario, para ello, realizar el modelo del helicóptero, así como crear el entorno equivalente al entorno inteligente. Además es necesario realizar las modificaciones necesarias en el simulador para integrar la aplicación de control. De esta forma será posible el manejo desde un radio control, a través del teclado o de forma autónoma. Por último se debe realizar una comunicación mediante sockets con el entorno inteligente para obtener la posición real del robot y de esta forma poder proporcionarle las ordenes correctas.

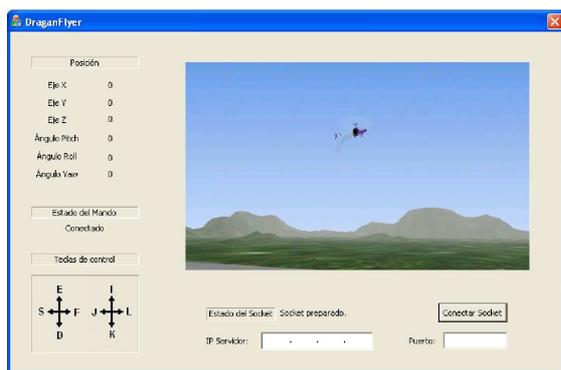


Fig. 4. Propuesta de interfaz de control

Este simulador permitirá así mismo su utilización en otros entornos, interiores y exteriores, en caso de utilizar, con la ayuda de otros sensores, el sistema fuera del entorno

inteligente. Para ello bastará con modelar el nuevo entorno en el que trabajar y ajustar sus características.

VI. RESULTADOS

En este apartado se describe el entorno de pruebas utilizado en este trabajo y los resultados de los experimentos propuestos para validar el sistema.

VI-A. Entorno de pruebas

El entorno inteligente utilizado para la realización de las pruebas está ubicado en la Escuela Politécnica de la Universidad de Alcalá. El entorno ocupa una superficie rectangular de 8 por 5 metros y está formado por un conjunto de cámaras colocadas en las esquinas superiores de la sala.

Para realizar la localización se han utilizado cuatro cámaras que debidamente calibradas obtendrán la posición del robot dentro del entorno.

Gracias a este sistema y a la comunicación con su servidor mediante sockets se pueden obtener las posiciones en el eje x, y, z así como los ángulos de pitch, roll y yaw que tiene el helicóptero en cada instante.

De esta forma es posible saber la posición del helicóptero en todo momento, pudiendo manejar el robot desde un lugar sin visión directa o utilizarse para realizar el control automatizado del mismo.

En la figura 5 se puede ver un ejemplo de la imagen del robot obtenida con el conjunto de cámaras dentro del entorno inteligente.



Fig. 5. Imágenes del helicóptero obtenidas en el entorno inteligente

VI-B. Resultados de la comunicación PC-Robot

Para obtener una correcta comunicación entre PC y robot es necesario acotar los valores que se envían al radio control hasta obtener un comportamiento correcto del helicóptero. Para ello se han realizado una serie de pruebas en las que se han ido variando los valores para cada canal buscando los valores mínimos y máximos del rango. Fuera de ellos el helicóptero tiene un comportamiento no deseado. A partir de estos valores se han obtenido los valores en los que los motores del robot permanecen en reposo. Esta relación de valores puede observarse en la tabla I.

TABLE I
RANGO DE VALORES DEL MANDO DE RADIO CONTROL

Canal	Función	Mínimo	Máximo	Reposo
1	Roll	37 (Izquierda)	255 (Derecha)	146
2	Pitch	37 (Adelante)	255 (Atrás)	146
3	Ascenso	110 (Motores parados)	160 (Ascenso)	110
4	Yaw	37 (Izquierda)	255 (Derecha)	146

De esta forma es posible controlar el helicóptero a través del PC modificando los valores a enviar para cada uno de los cuatro canales correspondientes a los movimientos de los ejes del mando de radio control.

VI-C. Resultados de la interfaz de control

Para realizar las pruebas del control y posicionamiento del robot se ha utilizado la aplicación (figura 6) a través de la cual se controla el helicóptero y se realiza la comunicación del entorno inteligente para obtener la posición actual.

Mediante esta aplicación es posible controlar manualmente el helicóptero así como obtener una representación de la posición del helicóptero dentro del entorno inteligente.

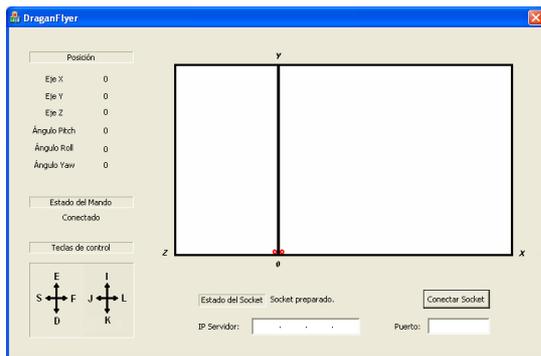


Fig. 6. Programa principal

Se ha observado una correcta respuesta tanto de control como de comunicación con el entorno inteligente obteniendo y representando de forma correcta el posicionamiento del robot.

Esta aplicación se integrará con el simulador en desarrollo obteniendo un interfaz más amigable así como un control más sencillo sin necesidad de modificar los algoritmos de comunicación o control.

VI-D. Resultados de la detección de incendios

Para comprobar el correcto funcionamiento del algoritmo de detección se realizan pruebas con imágenes de fuego real, así como con imágenes capturadas desde el helicóptero en interior. Estas imágenes se obtienen a partir de un video de una vela grabado desde el helicóptero en movimiento. Las figuras 7 y 8 muestran dos ejemplos de las imágenes utilizadas.

- Obtención de los píxeles de fuego:



Fig. 7. Imagen original fuego de vela



Fig. 8. Imagen original fuego real

Tras comparar los píxeles de fuego con la imagen se obtiene un número de píxeles detectados mucho menor que los píxeles que pertenecen al fuego. Además, existe la posibilidad de marcar píxeles que en realidad no pertenecen al fuego.

- Obtención de los píxeles de las esferas:
Ya que no se dispone de información del valor máximo de la distancia para realizar la selección de píxeles de forma correcta, se realizan pruebas con diferentes valores para cada imagen. Los resultados obtenidos en esta fase pueden observarse en la tabla II.

TABLE II
PÍXELES DETECTADOS MEDIANTE ESFERAS

Imagen	Píxeles	Píxeles de fuego	Distancia	Detectados
Fuego real	129952	3150	5	780
			30	3230
			60	6242
			90	17995
			133	67354
Fuego vela	76800	65	5	55
			30	65
			60	85
			90	180
			133	1189

Se puede comprobar que con una distancia de 30 se obtiene el valor óptimo.

- Eliminación de falsas detecciones:
En las figuras 9 y 10 se observan los resultados obtenidos

tras realizar el algoritmo completo de detección.



Fig. 9. Resultado tras eliminar áreas detectadas pequeñas



Fig. 10. Resultado tras eliminar áreas detectadas pequeñas

Los resultados finales se pueden observar en la tabla III.

TABLE III
PÍXELES DETECTADOS

Imagen	Píxeles totales	Totales de fuego	Paso	Detectados
Fuego real	129952	3150	1	46
			2	3230
			3	3158
Fuego vela	76800	65	1	41
			2	65
			3	65

VII. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La aplicación desarrollada permite el manejo desde un PC de un helicóptero de radio control. Además, permite continuar trabajando para conseguir realizar el vuelo automatizado del robot, así como realización de tareas como detectar obstáculos, realizar seguimiento de objetos, etc.

Estas tareas son muy interesantes puesto que permiten el desarrollo de sistemas de emergencia, búsqueda, detección de incendios desde el robot, sin necesidad de poner vidas en peligro.

Al introducir el helicóptero en un entorno inteligente la tarea de localización se simplifica ya que no es necesario añadir sensores al robot. El entorno inteligente es el encargado de proporcionar las posiciones y ángulos del helicóptero, para posteriormente analizarlos y tomar las decisiones adecuadas.

Sin embargo, con el uso del entorno inteligente solo se podría hacer uso del robot dentro de él. Por ello, se ha pensado incluir otras opciones de posicionamiento mediante sensores inerciales, GPS para exteriores o WIFI para interiores, que el helicóptero sea capaz de transportar.

La aplicación que se ha dado al trabajo es la detección de incendios, en el que se han conseguido buenos resultados para las pruebas realizadas en interiores. Sin embargo existe la posibilidad de detectar objetos como fuego en caso de tener un color y tamaño similar. Se ha considerado que la detección es aceptable considerando que una confusión con un falso positivo tiene solución, mientras que un error con un falso negativo puede tener consecuencias mucho más graves.

VIII. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al proyecto S-0505/DPI/000176 (Proyecto Robocity2030) del Departamento de Ciencia de la Comunidad de Madrid, el proyecto TRA2005-08529-C02-01 (Proyecto MOVICON) del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCyT) y el proyecto CCG07-UAH/DPI-1736 (Proyecto SLAM-MULEX) de la CAM/UAH.

REFERENCES

- [1] Mit - uav swarm health management project. [Online]. Available: <http://vertol.mit.edu/>
- [2] J. Nicoud and J. Zuffere, "Toward indoor flying robots," presented at the Proc. IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2002.
- [3] W. Green and P. Oh, "An aerial robot prototype for situational awareness in closed quarters," presented at the Proc. IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2003.
- [4] X. Deng, L. Schenato, and S. Sastry, "Model identification and attitude control for a micromechanical flying insect including thorax and sensor models," presented at the Proc. IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2003.
- [5] S. Avadhanula, R. J. Wood, D. Campolo, and R. S. Fearing, "Dynamically tuned design of the mfi thorax," presented at the Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002.
- [6] L.-C. Lai, C.-C. Yang, and C.-J. Wu, "Time-optimal control of a hovering quad-rotor helicopter," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 45, no. 2, pp. 115–135, June 2006.
- [7] B. Töreyn, Y. Dedeoğlu, U. Gündükbay, and E. Cetin, "Computer vision based method for real-time fire and flame detection," *Pattern Recognition Letters*, vol. 27, no. 1, pp. 49–58, Jan. 2006.
- [8] Rctoys - draganflyer. [Online]. Available: <http://www.rctoys.com/>
- [9] Endurance r/c ptx. [Online]. Available: <http://www.endurance-rc.com/>
- [10] D. Pizarro, "Suficiencia investigadora," Master's thesis, Universidad de Alcalá, Madrid, España, Sept. 2005.
- [11] I. Fernández, M. Mazo, J. L. Lázaro, D. Pizarro, E. Santiso, P. Martín, and C. Losada, "Guidance of a mobile robot using an array of static cameras located in the environment," *Autonomous Robots*, vol. 23, no. 4, pp. 305–324, 2007.
- [12] Helico flight simulator. [Online]. Available: <http://laurent.saintmarcel.free.fr/soft/simulator/>