



3. PLAN DE INVESTIGACIÓN

3.1 Resumen Técnico²¹ (escritura sin límite)

En el presente proyecto se plantea la continuidad del desarrollo de una plataforma robótica voladora cuatrirrotor para ambientes interiores aplicable al desarrollo, prueba y validación de algoritmos de control y navegación integrando información sensorial proveniente de visión por computador. El desarrollo se inicia en 2010 a partir del trabajo final de la carrera Ingeniería en Electrónica de la UTN-FRC llevada a cabo por alumnos de la misma en el Centro de Investigaciones en Informática para la Ingeniería bajo la dirección de investigadores pertenecientes a este. Esta plataforma consta de cuatro motores brushless con hélice orientados en forma vertical de modo que el empuje producido provee sustentación a una estructura que soporta la electrónica de control, los sensores de medición inercial y otros sensores como cámara, medidores de distancia ultrasónicos; además de las baterías y electrónica de potencia. Las características más importantes de estos robots son la capacidad de realizar vuelos estáticos (hovering), la simplicidad y robustez de los mecanismos de control, los bajos costos de construcción y mantenimiento; aunque por otro lado presentan características dinámicas complejas inherentemente inestables que demandan lazos de control de alta frecuencia con señales de realimentación de alta calidad para conseguir estabilizar la plataforma. La versión prototipo obtenida hasta el momento demuestra que es posible lograr la estabilización mediante el control de actitud utilizando mediciones provenientes de sensores inerciales. Sin embargo, para que el sistema sea plenamente funcional para el tipo de experimentación al que se lo pretende aplicar, es necesario contar con un lazo más de control de posición, para lo cual es necesario incorporar sensores que permitan localizar al robot en el espacio de configuraciones del mismo. En este proyecto se pretende completar el desarrollo del prototipo con el fin de alcanzar el índice de desempeño, el grado de confiabilidad y ajustarse a los protocolos de interfaz definidos en el centro de investigaciones para sus plataformas experimentales. En este sentido se necesita mejorar los siguientes aspectos técnicos:

- Reducción de peso de las estructuras de soporte.
- Rediseño de las estructuras de protección.
- Protección de los acumuladores y rediseño del conexionado eléctrico para sistema de carga y alimentación externa.
- Incorporación de comunicación inalámbrica IEEE 802.11
- Mejoramiento de las técnicas de fusión de mediciones de sensores inerciales mediante aplicación de filtrado por el método de Kalman.

Además se pretende ampliar las capacidades sensoriales incorporando sensores para mediciones absoluta como:

- Sensores para visión
- Sensores ultrasónicos

que permitan estimar la localización espacial del robot. También se pretende aumentar la versatilidad mediante la programación algoritmos de control de posicionamiento.

.....
Inicialado del Director

/ /
Fecha



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Secretaría de Ciencia y Tecnología
Formulario PID – Versión 8.0

3.2 Estado actual del conocimiento sobre el tema ²² (escritura sin límite)

A nivel internacional ha tenido auge en los últimos años la utilización de este tipo de robots en los desarrollos experimentales llevados a cabo en las universidades más importantes del mundo. Así se destacan los desarrollos del laboratorio GRASP de la Universidad de Pennsylvania [1], donde a través de un sistema de realimentación visual han logrado controles capaces de realizar maniobras agresivas en espacios reducidos, tareas de transporte y ensamblado en forma individual, cooperativa y coordinada. La Universidad de Stanford para su proyecto STARMAC [2], dedicado al testeado de controladores multiagente en vehículos voladores autónomos; ha desarrollado un cuatrirrotor autónomo basado en un modelo comercial (DraganFlyer IV) al cual se le incorporó la sensorística necesaria para la automatización. En general se pueden encontrar estas plataformas en todos los laboratorios de investigación en robótica de universidades importantes del mundo, involucrados en investigaciones y desarrollos que van desde técnicas de control, sensorística, mapeo y localización, hasta control y coordinación de enjambres robóticos, deposición de sensores, etc. También pueden encontrarse versiones comerciales de estas plataformas con aplicaciones que van desde el entretenimiento a utilidades militares. La empresa Parrot [3] ofrece su producto ARDrones para integración con videojuegos por U\$S 300, la empresa Quanser [4] ofrece un conjunto de herramientas para investigación que incluyen un cuatrirrotor, base de control y sistema de cámaras para realimentación visual entre otros elementos como modelo base en U\$S 20.000+, la empresa MicroDrones [5] ofrece dos modelos aptos para tareas de filmación, fotografía, vigilancia y también empleados en tareas de investigación y desarrollo en U\$S 10.000 y U\$S 20.000 las versiones básicas sin accesorios; la empresa DraganFly [6] ofrece un producto de características similares al anterior por U\$S 20.000 también para la configuración básica. Muchos países poseen desarrollos militares propios en torno a esta clase de robots, las aplicaciones comerciales son muy variadas, también se cuentan numerosas aplicaciones civiles entre las cuales un ejemplo interesante es el proyecto del Ministerio para Formación e Investigación de la República Federal Alemana denominado AirShield [7] el cual en forma sintética, utiliza cuatrirrotores como plataforma robótica para transporte de sensorística en zonas de catástrofe para proveer de información decisiva a las organizaciones y entidades oficiales encargados de la seguridad civil. Dada la rapidez de la dinámica de estos vehículos, el control de actitud demanda lazos cerrados con tasas de refresco muy altas, en el orden de los cientos de Hertz; la manera de obtener mediciones a estas frecuencias en forma simple es mediante la utilización de sensores inerciales. Los modelos matemáticos para control de actitud de estos robots se encuadran en dos categorías según el tipo de vuelo a realizar; están aquellos que serán operados en condiciones cercanas al vuelo estacionario por un lado y los que deberán tener capacidad de volar a mayor velocidad y realizar maniobras agresivas por otro. Para el primer caso se considera que los ángulos de inclinación del robot serán pequeños con lo que valen ciertas aproximaciones que permiten el modelado de los tres grados de libertad rotacionales en forma desacoplada. En el segundo caso se arriba a modelos de múltiples entradas y salidas fuertemente acoplados y subactuados, que demandan estrategias de control complejas. Para el primer caso descrito la mayoría de los proyectos existentes aplica controladores lineales del tipo PD o PID [8].

- Control de Actitud
- Localización y control de posición

REFERENCIAS

- [1] <http://www.grasp.upenn.edu/>
- [2] <http://hybrid.stanford.edu/~starmac/project.htm>
- [3] <http://ardrone.parrot.com/parrot-ar-drone/en>
- [4] http://www.quanser.com/english/html/UVS_Lab/fs_overview.htm
- [5] http://www.microdrones.com/en_customers_projects.php
- [6] <http://www.draganfly.com/>

.....
Inicialado del Director

/ /
Fecha



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Secretaría de Ciencia y Tecnología
Formulario PID – Versión 8.0

[7] <http://www.airshield.de/>

[8] J. Oursland, "The Design and Implementation of a Quadrotor Flight Controller Using the QUEST Algorithm", http://www.cs.uwec.edu/MICS/papers/mics2010_submission_36.pdf

.....
Inicialado del Director

/ /
Fecha



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Secretaría de Ciencia y Tecnología
Formulario PID – Versión 8.0

3.3 Grado de Avance ²³ (escritura sin límite)

Actualmente se cuenta con un prototipo operado en forma remota, con control de lazo cerrado de actitud. La estructura mecánica es robusta, de bajo costo y de fácil construcción. Los sistemas de amortiguamiento utilizados para el montaje de las placas con la electrónica y sensores diseñados han probado ser confiables y robustos. El algoritmo de control implementa un PD para la compensación de los lazos de estabilización de los ángulos de rotación, inclinación y guiñado. Las mediciones de rotación e inclinación se obtienen a partir de la combinación de mediciones proveniente de un acelerómetro de 3 ejes y un giróscopo de 3 ejes, ambos de tecnología MEMS, por medio de un filtro complementario [1]. El software embebido implementa los mecanismos de comunicación con una computadora externa; el enlace inalámbrico se hace mediante módulos Zig-Bee. En la computadora externa corre una aplicación que permite setear parámetros de configuración del controlador embebido, leer valores de los sensores y enviar los comandos de referencia provenientes del joystick utilizado para control remoto.

REFERENCIAS

[1] "Filtro complementario para estimación de actitud aplicado al controlador embebido de un cuatrirrotor", David Gaydou, Javier Redolfi y Agustín Henze. Congreso Argentino de Sistemas Embebidos, CASE2011. UTN-FRBA, Buenos Aires, Argentina.

.....
Inicialado del Director

/ /
Fecha



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Secretaría de Ciencia y Tecnología
Formulario PID – Versión 8.0

3.4 Objetivos de la investigación ²⁴ (escritura sin límite)

Objetivos Generales

Obtener una plataforma robótica voladora cuatrirrotor para ambientes interiores aplicable al desarrollo, prueba y validación de algoritmos de control y navegación integrando información sensorial proveniente de visión por computador.

Objetivos Particulares

- Rediseño de las estructuras de soporte y protección con el fin de reducir el peso, mejorar la robustez y facilitar las tareas de montaje/desmontaje de componentes.
- Implementar el enlace inalámbrico por medio de wifi, ieee802.11
- Implementar algoritmo de filtro de Kalman para la fusión de las mediciones provenientes del acelerómetro y del giróscopo.
- Implementar sistema de visión por computador para determinar posición y velocidad del robot.
- Codificación de algoritmos para vuelo estacionario y posicionamiento con orientación final.

.....
Inicialado del Director

/ /
Fecha



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Secretaría de Ciencia y Tecnología
Formulario PID – Versión 8.0

3.5 Metodología ²⁵ (escritura sin límite)

Para el rediseño estructural se utilizarán tubos rectangulares de aluminio aeronáutico. Además de las perforaciones y desbastes necesarios para la fijación del conjunto se fresarán ventanas a lo largo de los bastidores en zonas que no aporten significativamente a la rigidez de la estructura.

La comunicación inalámbrica entre el robot y la estación de tierra se realizará por medio de WiFi 802.11. Para esto se utilizará la placa de red de una computadora portátil y un módulo WiFly GSX 802.11 b/g montado en el vehículo, ambos configurados en modo "ad-hoc". Se utilizará protocolo UDP.

Para la fusión sensorial se definirán los modelos de los sensores suponiendo que las mediciones se encuentran afectadas por ruidos con distribución Gaussiana, cuyos parámetros característicos serán evaluados mediante ensayos. Luego se deducen las ecuaciones de Kalman a partir de la discretización del modelo [1].

El sistema de visión por computador se implementará mediante una Single Board Computer (SBC) basada en ARM9 (EP9302, Cirrus Logic) y FPGA (XA3ES500, Xilinx) [2] a la cual se le conecta un sensor de imagen CMOS (OV7620) con su óptica correspondiente. El sistema operativo de la SBC estará basado en Linux embebido, particularmente la distribución GNU Debian para ARM. Dicha SBC con el sensor serán montadas en el robot. Sobre la misma se ejecutarán los algoritmos para determinar la posición y velocidad del robot en base al cálculo del flujo óptico de las imágenes obtenidas con el sensor. Los algoritmos a implementar en la FPGA estarán basados en los esquemas presentados en [3][4][5][6] y las implementaciones a realizar en la computadora de abordaje siguen los lineamientos de las publicaciones [7][8][9] y se llevarán a cabo o bien en la FPGA o en el microcontrolador de la SBC.

Previo identificación del modelo del sistema se implementarán controladores LQR y no lineales sobre la representación de espacio de estados para la estabilización en vuelo estacionario. Para los controladores de posicionamiento se emplearán métodos de diseño de controladores no lineales aplicando el criterio de estabilidad de Lyapunov en modo de vuelo quasi-estacionario.

La organización del trabajo colectivo se hará según el siguiente esquema: a partir de los objetivos formulados se definen el conjunto de tareas a realizar, se las agrupa por categorías y se asigna un equipo de personas a su ejecución. Estos grupos concertan las condiciones de las interfaces entre los bloques que desarrollan cada uno como así también los tiempos para alcanzar objetivos intermedios y finales coordinados. En todos los casos las problemáticas de cada tarea se encararán empezando por la búsqueda bibliográfica y el estudio teórico, para luego proponer una hipótesis de trabajo y un diseño experimental apropiado y concertado con los miembros del proyecto. Durante todo el proceso se utiliza para la coordinación, el trabajo colaborativo y la documentación; la plataforma Wiki del Centro de Investigaciones C.I.I.I.

REFERENCIAS

[1] "Attitude estimation using low cost accelerometer and gyroscope", Young Soo Suh. Science and Technology, 2003. Proceedings KORUS 2003. On the 7th Korea-Russia International Symposium. 2003

[2] Gonzalez Dondo, D.; Alem L.; Steiner G., "Single Board Computer basada en ARM9 y FPGA para el procesamiento de imágenes digitales", Congreso Argentino de Sistemas Embebidos, CASE2011. UTN-FRBA, Buenos Aires, Argentina

[3] Yamada, H.; Tominaga, T.; Ichikawa, M.; , "An autonomous flying object navigated by real-time optical flow and visual target detection,"/Field-Programmable Technology (FPT), 2003. Proceedings. 2003 IEEE International Conference on/ , vol., no., pp. 222- 227, 15-17 Dec. 2003

[4] Díaz, J.; Ros, E.; Pelayo, F.; Ortigosa, E.M.; Mota, S.; , "FPGA-based real-time optical-flow

.....
Inicialado del Director

/ /
Fecha



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Secretaría de Ciencia y Tecnología
Formulario PID – Versión 8.0

system," /Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on/ , vol.16, no.2, pp. 274-279, Feb. 2006

[5] Zuloaga, A.; Martin, J.L.; Ezquerra, J.; , "Hardware architecture for optical flow estimation in real time," /Image Processing, 1998. ICIP 98. Proceedings. 1998 International Conference on/ , vol., no., pp.972-976 vol.3, 4-7 Oct 1998

[6] A. Zuloaga, U. Bidarte, J. L. Martin, J. Ezquerra, "Optical flow estimator using VHDL for implementation in FPGA," Proceedings XIII design of integrated circuits and systems conference, pp. 36-41, November 1998.

[7] Khalil, F.F.; Payeur, P.; , "Optical flow techniques in biomimetic UAV vision," /Robotic Sensors: Robotic and Sensor Environments, 2005. International Workshop on/ , vol., no., pp.14-19, Sept. 30 2005-Oct. 1 2005

[8] Ha, J.; Alvino, C.; Pryor, G.; Niethammer, M.; Johnson, E.;Tannenbaum, A.; , "Active contours and optical flow for automatic tracking of flying vehicles," /American Control Conference, 2004. Proceedings of the 2004/ , vol.4, no., pp.3441-3446 vol.4, June 30 2004-July 2 2004

[9] Kendoul, F.; Fantoni, I.; Dherbomez, G.; , "Three Nested Kalman Filters-Based Algorithm for Real-Time Estimation of Optical Flow, UAV Motion and Obstacles Detection," /Robotics and Automation, 2007 IEEE International Conference on/ , vol., no., pp.4746-4751, 10-14 April 2007

.....
Inicialado del Director

/ /
Fecha



3.6 Impacto del Proyecto

3.6.1 Contribución al avance del conocimiento científico y/o tecnológico y/o transferencia al medio ²⁶ (escritura sin límite)

Contar con una plataforma robótica como la descrita abre la posibilidad de llevar a la práctica mediante experimentos reales investigaciones de áreas como visión por computador, navegación y sensorística.

Por otro lado, este tipo de robot autónomos son una pieza fundamental en el desarrollo de nuevas tecnologías orientadas al apoyo a fuerzas de seguridad, en tareas como vigilancia; en el reemplazo de operadores humanos en tareas de riesgo como inspección de líneas de transporte de energía eléctrica; en el aporte de información para evaluación de estados de situación en ocasión de desastre para los organismos de defensa civil; y una larga lista de otras posibilidades.

.....
Inicialado del Director

/ /
Fecha



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Secretaría de Ciencia y Tecnología
Formulario PID – Versión 8.0

3.6.2 Contribución a la formación de recursos humanos ²⁷ (escritura sin límite)

El desarrollo del proyecto propuesto implica la conformación de un grupo de trabajo integrado por estudiantes doctorales, graduados con vistas a iniciar sus estudios doctorales y alumnos de grados. La interacción entre miembros con diferente grado de avance en su formación académica permite que aquellos en estadíos inferiores se enriquezcan con la experiencia y conocimiento de los avanzados. Además todo el conjunto ejercita las prácticas de coordinación y trabajo en equipo.

.....
Inicialado del Director

/ /
Fecha



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Secretaría de Ciencia y Tecnología
Formulario PID – Versión 8.0

3.7 Cronograma de actividades (Consigne sucesivamente cada actividad unitaria)

Actividades del Primer Año	Meses											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rediseño Estructura Mecánica	X	X	X	X								
Implementación enlace WiFi		X	X	X	X							
Implementación y evaluación filtrado por Kalman				X	X	X	X	X	X	X		
Documentación			X	X			X	X	X	X	X	X
Divulgación											X	X

Actividades del Segundo Año	Meses											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Implementación medición de posición y velocidad mediante visión	X	X	X	X	X	X						
Cálculo, codificación y ensayo de algoritmos para vuelo estacionario					X	X	X	X				
Cálculo, codificación y ensayo de algoritmos para posicionamiento									X	X		
Documentación						X	X				X	X
Divulgación											X	X

.....
 Inicialado del Director

/ /
 Fecha