



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

GRADO EN INGENIERÍA AEROESPACIAL EN AERONAVEGACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

Drones

Autor: Jesús Saiz Colomina

Tutor: José María Cañas Plaza

Curso académico 2017/2018

Agradecimientos

Hola

Resumen

Cada día podemos observar el gran crecimiento que se esta llevando a cabo con los drones, tanto a nivel de ventas de robots aéreos como a nivel de software y capacidades que pueden llevar a cabo los mismos. No por esto quiere decir que sea un nuevo robot ya que estos tienen mucha historia, se empezaron a utilizar con fines bélicos, sus primeras misiones fueron de localización y destrucción remota y luego como medio de espionaje contra el enemigo en la primera guerra mundial (1916 primera aparición).

En este Trabajo de Fin de Grado se abordan diferentes capacidades de los drones implementándolas todas ellas en un solo uso para crear un programa que permita tanto el uso sencillo de softwares de navegación y guiado utilizando autolocalización visual como la implementación de herramientas de aterrizaje y despegue guiado mediante algoritmos de navegacion visual. Con ello se crea una navegación y guiado de un dron completamente autónomo, únicamente utilizando la ayuda balizas de aterrizaje y despegue, y localizadores (AprilTags). Todas estas funcionalidades se implementan en un único programa con la herramienta Visual States, la cual permite dividir el conjunto de capacidades en diferentes apartados.

Con este trabajo quiero adentrarme en este nuevo mundo y llegar a conocer de lo que son capaces los robots aéreos, gracias a los avances de las nuevas tecnologías y a la posibilidad de adaptación en los drones. Para ello se ha implementado una nueva funcionalidad para los drones mediante un nuevo software y la utilización de funciones ya creadas en JdeRobot. El componente final se ha escrito con el lenguaje de programación Python, en la versión JdeRobot 5.6 y probado con el simulador Gazebo, en el que se han realizado las simulaciones.

Índice general

Índice de figuras	V
1. Introducción	1
1.1. Robótica actual	1
1.1.1. Clasificación	2
1.1.2. Visión Artificial, Enrutamiento y Autolocalización	6
1.2. Robótica Aérea	8
1.2.1. Robótica aérea Española	13
1.2.2. Robótica aérea en la URJC	17
2. Objetivos	19
2.1. Problemas a abordar	19
2.2. Requisitos	21
2.3. Metodología	21
2.4. Plan de trabajo	23
3. Infraestructura	25
3.1. Jderobot (todo lo utilizado)	25
3.2. Gazebo	25
3.3. Visual States	25
3.4. Bibliotecas	25
3.5. Antecedentes	25

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	IV
4. Desarrollo	26
4.1. JDeRobotAcademy	26
4.2. Diseño (mundos y visual)	26
4.3. Primer problema abordado (drone simple)	26
4.4. Creación de rutas (posicion dada)	26
4.5. Aterrizaje visual	26
4.6. Anexionar lo anterior en un solo programa	26
4.7. Crearlo con VisualStates	26
4.8. Cambiar localización dada por slam-visualmarkers	26
4.9. Dividirlo en autolocalización y control ?	26
5. Experimentos (de momento todos simulados)	27
6. Conclusiones	28
6.1. Conclusiones	28
6.2. Trabajos futuros	28
7. Bibliografía	29

Índice de figuras

1.1. Ejemplos de funcionalidades de Robots	2
1.2. Robot ASIMO realizando acciones cotidianas.	3
1.3. Robot PEPPER en un aula como complemento educador.	4
1.4. Nanorobots para combatir enfermedades.	5
1.5. Visión artificial de un automóvil.	7
1.6. AAI RQ-2 Pioneer - Uno de los primeros Robots Aéreos.	10
1.7. Drone ala fija Vs Drone ala móvil	11
1.8. Movimiento del Drone según sus rotores.	13
1.9. Dron contra incendios.	16
1.10. TFM Alberto Martín.	17
1.11. TFG Manuel Zafra.	18
2.1. Representación del desarrollo en espiral.	23

Capítulo 1

Introducción

En este primer capítulo, antes de adentrarnos en la parte mas técnica, se va a introducir al lector de forma breve que es la robótica y más concretamente en los robots aéreos, para así poder conocer el estado actual de estos robots y como ha evolucionado en los últimos años este sector, creando un gran subapartado dentro del mundo de la aviación. Una vez entrado en este contexto y conociendo el panorama mundial de la robótica aérea nos adentraremos en la Robótica Española y focalizaremos en la robótica aérea de la Universidad Rey Juan Carlos.

Robótica actual

La Robótica es una rama multidisciplinaria de la ingeniería y la ciencia la cual incluye partes de la ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica, ciencias de la computación y otras. Estas tecnologías permiten desarrollar máquinas que puedan sustituir a los humanos en sus acciones mas cotidianas pero sobretodo están pensadas para ser usadas en ambientes peligrosos (detección y desactivación de bombas), procesos de manufactura (montaje en serie de coches) e incluso en ambientes donde los humanos no pueden sobrevivir (otros planetas como Marte).

Los principios básicos que se plantearon para el correcto funcionamiento de los robots desde que esta palabra fue inventada, ambos hechos realizados por el bio-

químico ruso Isaac Asimov, fueron: primero que ningún robot puede hacer daño a un ser humano, o permitir que se le haga daño por no actuar, segundo que un robot debe obedecer las órdenes dadas por un ser humano, excepto si éstas órdenes entran en conflicto con la primera ley y tercero que un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que está protección no sea incompatible con las leyes anteriores. Todo esto actualmente, como se ha visto en la sociedad actual es muy difícil de que se cumpla y dista mucho de la realidad y, aunque si que se exigen unos mínimos a la hora de crear robots, cualquier parecido es mera casualidad.



(a) Robot Artificio

(b) Robots en cadena de montaje

(c) Rover Curiosity en Marte

Figura 1.1: Ejemplos de funcionalidades de Robots

Clasificación

Hay muchos tipos de clasificación de los robots, pero el más utilizado y reconocido es según su cronología:

- **1ª Generación:** Robots manipuladores. Sistemas mecánicos de varias funcionalidades con un sistema de control sencillo, el cual puede ser manual, de secuencia fija o de secuencia variable.
- **2ª Generación:** Robots de aprendizaje. Son capaces de repetir una secuencia de movimiento que ha sido previamente ejecutada por una persona. El operador

realiza los movimientos requeridos mientras el robot los memoriza y le va siguiendo.

- **3ª Generación:** Robots con control sensorizado. Llevan incorporados controladores, pequeñas computadoras que ejecutan las ordenes de un programa y mediante el manipulado es capaz de realizar los movimientos ordenados.
- **4ª Generación:** Robots inteligentes. Similares a la generación anterior pero incluyen una gran mejora y es que están equipados con sensores que mediante la comunicación con la computadora de control sobre la realización de las ordenes permite una toma inteligente de decisiones y un control de procesos en tiempo real.



Figura 1.2: Robot ASIMO realizando acciones cotidianas.

Como hemos dicho anteriormente la robótica es una ciencia que esta en constante desarrollo, gracias a esto a evolucionado increíblemente en los últimos años, esto ligado al incremento de los procesadores, así como en dispositivos hardware y desarrollo de software ha permitido que hoy en día la robótica este presente en prácticamente todas las industrias actuales y cotidianas de nuestra vida:

- **Agricultura:** Todavía no son muy comunes los robots que trabajan en agricultura, pero a medida que pasa el tiempo se vuelven más y más populares. La

tecnología robótica aplicada al sector agrícola se encuentra en un estado de desarrollo avanzado debido a la necesidad de aumentar la producción sin aumentar los recursos al mismo tiempo que se minimiza el impacto ambiental.

- **Educación:** La robótica ha surgido como un recurso didáctico innovador que favorece la construcción de conceptos y conocimientos de distintas disciplinas, no únicamente las tecnológicas o científicas. Utilizando esta tecnología como factor de motivación a partir del interés para llevar al alumno al desarrollo de su propio conocimiento.



Figura 1.3: Robot PEPPER en un aula como complemento educador.

- **Industria:** Se utilizan tanto para realizar trabajos peligrosos o de gran dificultad para un humano como puede ser la aplicación de sustancias nocivas, el moldeado de materiales o el transporte pesado; como para tareas de inspección y control de calidad mediante visión artificial y sistemas mecánicos. Además, el uso de robots conlleva una mejora de calidad y un gran aumento de la productividad.
- **Investigación:** En los laboratorios se utilizan para realizar tareas repetitivas

de medición y control de calidad y desempeñar trabajos peligrosos para los humanos como puede ser la manipulación de sustancias dañinas. También en la investigación espacial se hace un gran uso de la robótica, lo que permite investigar entornos que para un ser humano serían prácticamente imposibles, como el caso del robot Curiosity mencionado anteriormente.

- **Medicina:** Se han desarrollado dispositivos que permiten realizar desde trabajos quirúrgicos guiados por imágenes hasta cirugía mínimamente invasiva realizada mecánicamente por un robot. También podemos encontrar robots asistenciales para personas que necesitan una supervisión y cuidado continuo, prótesis robóticas que van desde la sustitución parcial de alguna parte dañada del cuerpo hasta exoesqueletos. Otro ejemplo estaría en la robótica terapéutica, utilizada como medio de rehabilitación fisiológica y en tratamientos para enfermedades como el Alzheimer. Por último hablar de los nano-robots que son capaces de combatir por si solos diferentes enfermedades del cuerpo humano.

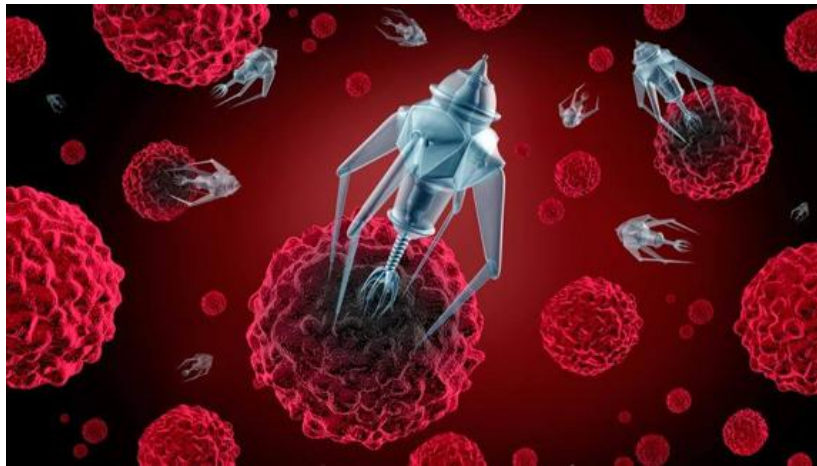


Figura 1.4: Nanorobots para combatir enfermedades.

- **Militar:** En muchas ocasiones los mayores avances en materia de tecnología se han realizado durante periodos de guerra. Actualmente existe una gran gama de vehículos terrestres sin piloto humano con funciones de reconocimiento e incluso

algunos vehículos armados. El mayor desarrollo en cuanto a robótica militar está siendo llevada a cabo en la robótica aérea, donde estos sistemas han pasado de ser unidades de apoyo a unidades primarias de ataque.

- **Ocio y tiempo libre:** En los últimos años se ha producido una integración de esta tecnología en eventos de cultura, deporte y ocio. Podemos ver ejemplos de esto en eventos deportivos en los que se aplica la realidad aumentada, en el desarrollo de efectos especiales de la industria audiovisual o en las nuevas generaciones de consolas y videojuegos, en los que se hace amplio uso de la visión por computador. Aquí también podríamos incluir los robots para niños que son capaces de divertir y entretener a la vez, y están llegando a todos los hogares.
- **Seguridad:** La robótica ha dado al mundo de la seguridad y la vigilancia una nueva perspectiva, siendo la visión artificial el eje en torno al que giran estas aplicaciones. La automatización de estas tareas permite una mayor facilidad y eficiencia a la hora de ejecutar esta labor, podemos encontrar drones que vigilan grandes concentraciones de personas, cámaras en seguridad vial que analizan el tráfico o el uso doméstico de estas para la prevención de accidentes.

Visión Artificial, Enrutamiento y Autolocalización

Para muchos científicos el sentido del cual el ser humano obtiene mas información del medio es la visión, de hecho, debido a esta gran cantidad de datos se calcula que el 70 % de las tareas del cerebro se emplean en analizar esta información visual. Por esto la Visión Artificial o Visión por Computador busca conseguir la información visual para extraer las características que le interesan y así poder utilizar procedimientos automáticos. Para conseguir que todo esto fuese viable y no se tardara días en enviar imágenes se emplearon las técnicas de procesamiento de imágenes las cuales han avanzado a niveles de que el desfase entre la visión atificial y la realidad sea prácticamente nulo.



Figura 1.5: Visión artificial de un automóvil.

Para poder hablar de la Visión Artificial lo primero es conocer la naturaleza de la luz ya que esta técnica se basa en diferenciar esta para poder analizarla y enviar la información de las imágenes. Resumiendolo brevemente la luz es la parte de la radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano y la luz visible corresponde a la radiación del espectro visible, ambas están formadas por fotones cuyas propiedades en relación con la dualidad de onda explican las características de su comportamiento. Una vez conocida la naturaleza de la luz, la Visión Artificial se basa en la formación de imágenes y, como hemos dicho antes, en el sistema de procesamiento de éstas. El primer apartado estaría constituido por el subsistema de iluminación, de captación de la imagen y de adquisición de la señal en el computador, una vez se ha conseguido introducir la señal en el computador se procesa mediante algoritmos para transformarla en información útil para los robots.

El enrutamiento es el proceso por el cual una persona o robot busca un camino entre todos los posibles, normalmente está asociado a una serie de puntos o itinerarios que debe seguir, por lo que la complejidad radica en que realice la sucesión de estos de la mejor forma posible encontrando la ruta óptima. Los parametros mas importantes a la hora del enrutamineto son la metrica y el algoritmo de cálculo. En cuanto a la métrica

es importante porque de esta se extrae el valor que luego los algoritmos utilizarán para determinar cuál es la mejor ruta, hay muchos tipos de métrica, la más utilizada en el día a día suelen ser las longitudinales (metros, pies...), pero hay muchas más como las temporales o las electrónicas (ancho de banda, según protocolo) utilizadas en telecomunicaciones. Por otra parte el algoritmo de cálculo es la parte más compleja de desarrollar y será mediante la cual obtengas la ruta óptima por lo que su objetivo al final es conseguir una ruta que reduzca el retardo entre puntos de la red, consiga el mejor enlace entre puntos de ruta y por último reduzca el coste de la operación.

En estos últimos años y gracias a la privación del GNSS y la utilización de este sistema para la sociedad, la guerra de la industria militar ha permitido que hoy podamos utilizar la localización en cualquier dispositivo con una simple antena, ha su vez y visto el potencial de este sistema de autolocalización todos los países han intentado crear su red satelital de posicionamiento, el primero y promotor de todo fue GPS (EE.UU.), Galileo (UE), Beidou (India), Glonass (Rusia)... Con toda esta red de satélites y la posibilidad de los nuevos softwares que permiten la utilización de varios sistemas conjuntamente, prácticamente todos los dispositivos utilizan un localizador GNSS para posicionarse, el problema viene cuando la posición que necesitamos es tridimensional y tiene que ser muy precisa, ya que este sistema aún cuenta con fallos de metros en cuanto al posicionamiento tridimensional. Por ello, en nuestro proyecto, no podremos utilizar este sistema de posicionamiento y lo cambiaremos por la autolocalización mediante balizas visuales, la cual nos dará un error mucho menor y nos permitirá realizar el enrutamiento y guiado mucho más preciso.

Robótica Aérea

Los robots aéreos o más comúnmente conocidos como UAV (Unmanned Aerial Vehicle), son vehículos aéreos no tripulados (VANT) controlados remotamente desde una estación de control en tierra y/o mar, o por un programa previamente implementado, estos son los llamados UAV autónomos, programados para que respondan ante el entorno e incluso interactúen con él.

Inicialmente estos robots se pensaron unicamente para uso militar y fueron investigados y desarrollados por este sector, empezaron a crearse entre los años 1914 y 1918, durante la I Guerra Mundial, cuando estaban pensados para utilizarse como blancos aéreos de entrenamiento y defensa contra los Zeppelins, se continuaron desarrollando durante la II Guerra Mundial también para entrenar a los operarios de los cañones antiaéreos pero pronto se vio el potencial que tenían estos robots aéreos y se decidió dejar de utilizar unicamente como blanco aéreo para utilizarlo con fines mas productivos como la vigilancia, iniciada durante la guerra de Vietnam, y la obtención, manejo y transmisión de información ya sea propia u obtenida por los mismos UAV y así poder proteger la misma de la guerra electrónica y la criptografía ya que las comunicación son mucho mas seguras y difíciles de detectar.

Hasta este último siglo se pensaba que serian investigados unicamente para la industria militar, pero visto el gran potencial que tenían, los nuevos usos que se les estaban dando y los avances en la industria aeronáutica e informática permitió que se convirtiese en una herramienta útil para la sociedad civil. Por tanto en la actualidad los UAV son útiles en diferentes industrias con diferentes objetivos y así una posible clasificación de los mismos sería:

- **Blanco:** Fue el primer uso que se le dio a los UAV y que permitió el posterior avance y desarrollo que ha obtenido. Servían como simulación de aviones y ataque enemigos para poder entrenar las defensas de los ejércitos.
- **Reconocimiento:** Uso que revelo el gran potencial de estos robots, servían para enviar información militar recopilada durante el vuelo, normalmente en las zonas enemigas.



Figura 1.6: AAI RQ-2 Pioneer - Uno de los primeros Robots Aéreos.

- **Combate:** estos son los llamados UCAV(unmanned combat air vehicle) usados para llevar a cabo misiones de combate que suelen ser peligrosas.
- **Logística:** o tambien llamados de carga, utilizados sobretodo para transportar mercancías peligrosas o sobre zonas en conflicto sin el riesgo de perder vidas humanas.
- **Investigación y Desarrollo:** en estos se prueban y se mejoran los sistemas que están en desarrollo para comprobar su correcto funcionamiento.
- **Comercial y Civil:** ultima utilización que se ha llevado a cabo y que se encuentra en mayor crecimiento tanto de innovaciones como de ventas ya que son diseñados para propósitos civiles como pueden ser: realizar filmaciones , inspección y reparaciones, sondas de investigación, rescates, vigilancia, detección de incendios y agricultura entre otros.

La mayoría de los UAV actuales cuentan con una serie de partes, sensores y actuadores que les permiten realizar los propósitos para los que han sido creados, entre ellos encontramos:

- **Motor:** En esta parte diferenciaremos los de ala fija los cuales se rigen por el mismo principio de vuelo que los aviones en los cuales la sustentación se produce gracias a la forma de las alas y el enfrentamiento de estas frente al viento, y los de ala rotatoria, estos se rigen por el principio de vuelo de los helicópteros en los cuales las propias hélices del motor son las que por su forma y giro producen la sustentación y por tanto el vuelo del drone, término muy utilizado para este tipo de UAV.

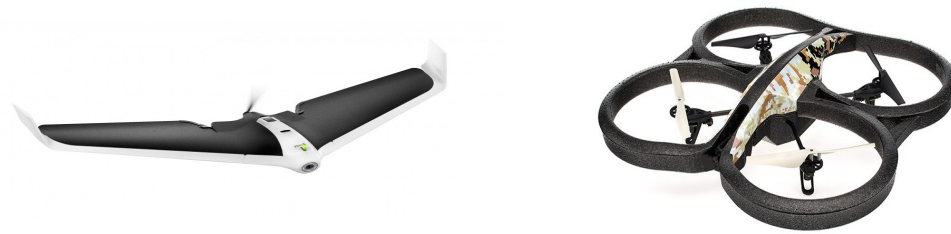


Figura 1.7: Drone ala fija Vs Drone ala móvil

- **Chasis:** Estructura principal sobre la que se sitúan el resto de los elementos. Cambiará su forma dependiendo del tipo de UAV, variando la longitud del cuerpo de aterrizaje o el número de soportes para los motores o hélices. Gracias a los últimos avances en la ingeniería de materiales se ha conseguido que el chasis sea mucho mas ligero y así poder incrementar la carga útil (pay-load) para mejorar la funcionalidad de los mismos.
- **Batería:** La parte mas crítica por el momento de los UAV y en la que mas se esta investigando, la autonomía media de los UAV no supera la hora de vuelo y esto es debido a que los motores necesitan mucha potencia para poder hacer volar los drones por lo que cuanto mas grandes mas potencia es necesaria y por tanto mayor batería se necesita, por lo que hay que encontrar el término justo que se necesita para cada drone en cuanto a peso, carga útil y autonomía.
- **Equipo transmisor y receptor:** Parte encargada la transformación de la

información y si fuese el caso de la comunicación simultanea con el equipo en tierra. Parte muy importante para los UAV que están teledirigidos o que transmiten información simultanea de lo que están haciendo, normalmente mediante radiofrecuencia o Wi-Fi.

- **Controlador:** Encargado de recoger toda la información tanto de la previamente cargada como de los sensores para procesarla y ejecutar las ordenes adecuadas para completar el objetivo que se le ha establecido.
- **Cámara:** Aunque no todos los UAV la llevan incorporada, es una parte imprescindible en el desarrollo de los mismos ya que permite saber en todo momento lo que está realizando el drone y poder analizar estas imágenes para comprobar el correcto funcionamiento, incluso hay UAV que únicamente se encargan de grabar una determinada zona o fotografiarla (mapeo o filmación), estos drones cuentan con varias cámaras verticales y horizontales para no perder ningún detalle y poder ver en todas las direcciones.
- **Altímetro:** Es el sensor que mide los cambios en la presión atmosférica de forma que puede establecer la altura a la que se encuentra el dron.
- **IMU:** es un dispositivo electrónico que mediante una combinación de acelerómetros y giróscopos determina la velocidad, orientación y las fuerzas gravitacionales del vehículo para comprobar el correcto funcionamiento del controlador y de los motores en cualquier entorno y condición meteorológica y en caso erróneo, los dispositivos mas avanzados, pueden corregirlo.
- **Magnetómetro:** es un dispositivo que mide la dirección del campo gravitacional de la tierra y de esta forma calcula la orientación del dispositivo con respecto a ésta, lo cual es muy útil para poder direccionar el dron sobre rutas terrestres.

Con esta breve caracterización y clasificación de los UAV nosotros nos centraremos sobretodo en los Robots Aéreos de ala móvil, concretamente en los cuadricópteros que son los que están formados por cuatro hélices las cuales permiten

el movimiento en todas las direcciones posibles mediante la variación de potencia de los motores que hacen girar estas hélices. En la siguiente imagen se pueden observar como se producen los principales movimientos del dron, donde las flechas indican el sentido de rotación de las hélices y el color la velocidad del giro, el rojo significa mayor velocidad. Como diferenciación de la forma de vuelo de los helicópteros destacar que en estos la torsión generada por el rotor principal se contrarresta con una hélice de apoyo perpendicular a ésta y en los drones cuadricópteros el problema de la torsión se solventa asignando el sentido de giro de las hélices de forma opuesta entre rotores que están situados de forma contigua.

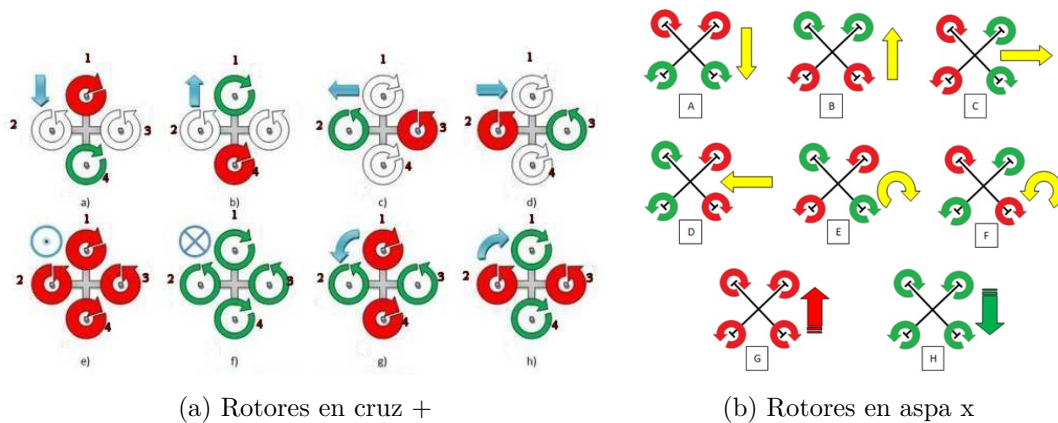


Figura 1.8: Movimiento del Dron según sus rotores.

Robótica aérea Española

En esta sección nos centraremos principalmente en el marco legislativo en España sobre los UAV, que se acordó el 15 de Diciembre de 2017 en el Consejo de Ministros ¹, y en los avances mas importantes que se han llevado a cabo en nuestro país.

La nueva ley sigue cumpliendo prácticamente la totalidad de la ley aprobada el 4 de Julio de 2014 en la cual se especificaba:

¹<https://www.boe.es/boe/dias/2017/12/29/pdfs/BOE-A-2017-15721.pdf>

- Tipo de Drone: Se establecen dos categorías iniciales: Drones con peso inferior a 2Kg. y drones con peso entre los 2Kg. y 25Kg. Para ambos es imprescindible disponer de un carnet de piloto de drones para poder operar en España. En caso de los drones de peso inferior a 2kg, no será necesario que estén inscritos en el registro de aeronaves ni disponer de un certificado de aeronavegabilidad. Para ambos tipos de drone, será necesario incluir obligatoriamente una placa identificativa con el nombre del fabricante del aparato así como los datos fiscales de la empresa que lleve a cabo dichas operaciones.
- Espacio aéreo: El espacio aéreo pertenece a AESA, y como tal, para poder realizar cualquier tipo de actividad comercial o civil con un drone, se deberá obtener un permiso oficial, como mínimo 5 días antes de llevar a cabo cualquier operación en el aire. Esta nueva legislación sigue manteniendo la prohibición de sobrevolar núcleos urbanos o espacios con una alta masificación de gente sin el consentimiento especial por parte de la Agencia Española de Seguridad Aérea.
- Seguridad: El pilar fundamental en el que se ha basado el Ministerio para la realización de la normativa de uso de drones civiles en España es la seguridad. Por ello cada empresa deberá disponer de un manual de operaciones cumplimentado siguiendo el estándar proporcionado por el Ministerio, así como un estudio de seguridad de cada una de las operaciones a realizar. Es decir, si alguien piensa en hacer volar un drone al margen de la ley, ya sea con un peso inferior a 2kg, o entre 2kg y 25kg, se expone a sanciones que van entre 3.000€ a 60.000€.
- Carnet de piloto de Drones en España: Para que las empresas puedan operar legalmente, como lo hace Dronair, los pilotos designados deberán disponer de un carnet oficial para el manejo de drones.. Si estos pilotos ya disponen de un título de piloto de avión, ultraligero u otro específico, no será necesario obtener dicha titulación. En caso contrario deberán cursar una serie de exámenes y pruebas oficiales para obtener el carnet oficial de piloto de drones. A día de hoy, no existen academias oficiales bajo la tutela del Gobierno que realicen estos cursos, por eso

y mientras se empiezan a impartir estos cursos, será obligatorio demostrar que se dispone de los conocimientos teóricos y algún tipo de carnet oficial o documento que acredite a los pilotos en el manejo de drones para poder llevar a cabo cualquier operación. Esta normativa temporal sobre drones en España considera los diferentes marcos en los que se podrán realizar los distintos trabajos aéreos y en función del peso de la aeronave. Además, el texto aprobado se completa con el régimen general de la Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea, y no sólo marca las pautas de operación con este tipo de aeronaves, sino también otro tipo de obligaciones.

Las únicas novedades de la ley puesta en marcha a finales del año pasado son:

- **Sobrevolar zonas pobladas:** Ésta es una de las medidas más esperadas por el sector. Se podrán realizar vuelos sobre aglomeraciones, edificios y reuniones de personal al aire libre siempre y cuando la masa máxima al despegue de la aeronave no sobrepase los 10kg, mantengamos la aeronave dentro del alcance visual del piloto (VLOS) y no sobrepasemos los 120 metros de altura ni los 100 metros en horizontal con la posición del piloto.
- **Vuelos nocturnos:** Con la actual ley 18/2014 no se permite realizar vuelos nocturnos con RPAs. Los vuelos nocturnos están recogidos en el borrador de la nueva ley y parece que van a ser permitidos siempre y cuando tengamos la autorización de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea. Esto supone además que es necesario contar con un estudio de seguridad.
- **Vuelos en espacio aéreo controlado:** Por el momento solamente está permitido volar en zonas de espacio aéreo no controlado. Con la nueva ley se podrá volar en espacio aéreo controlado siempre y cuando presentemos los estudios de seguridad correspondiente y tengamos la autorización de AESA.
- **Operaciones EVLOS:** Con la normativa vigente solamente podemos alejar nuestra aeronave a una distancia máxima de 500 metros en horizontal respecto a la

posición del piloto. Con la nueva normativa estarán permitidos los vuelos dentro del alcance visual aumentado (EVLOS). Es decir, estos 500 metros pueden ser ampliados, siempre y cuando existan observadores intermedios coordinados entre sí. En todo momento, al menos uno de ellos debe tener visión directa del vehículo.

En cuanto a los inventos de drones o de usos de estos nos basaremos en los dos certámenes mas importantes tanto a nivel nacional como internacinal. A nivel internacional tenemos el Premio UAE Drones For Good Award en los Emiratos Árabes en el cual los siguientes proyectos españoles han llegado a ser finalistas: transferir rápidamente órganos de trasplantes desde los centros de donantes, vigilar mejor las zonas verdes para combatir la caza furtiva, controlar la vida salvaje y reducir el riesgo se incendios, ofrecer mejor detección de campo de minas y combatir la propagación de la enfermedad del sueño (Tse-Tse) mediante el control de mosquitos.

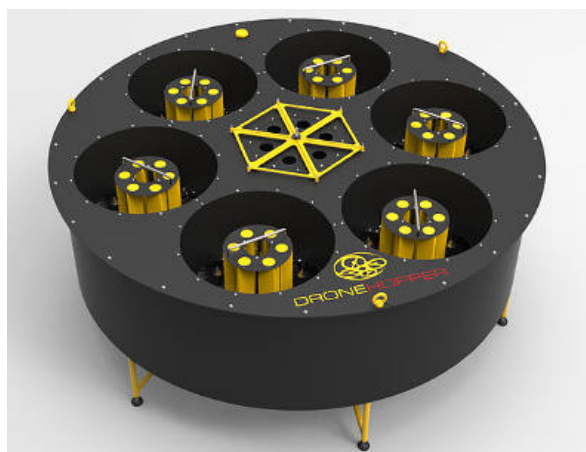


Figura 1.9: Dron contra incendios.

A nivel nacional tenemos el Premio que se ha creado este año a la Innovación Aeronáutica por el COIAE(Colegio Oficial de Ingenieros Aeronáuticos de España) y que ha ganado dron que extingue incendios forestales, el cual tiene la capacidad de adaptarse a las condiciones de un fuego para apagarlo².

²<https://www.drone-hopper.com>

Robótica aérea en la URJC

Proyectos anteriores en los que me he basado y que me han ayudado para crear mi trabajo de final de carrera:

Alberto Martín: ³ Navegación visual en un cuadricóptero para el seguimiento de objetos. En el abordaba la navegación visual autónoma de un cuadricóptero implementando algoritmos de navegación visual para el seguimiento de objetos de manera autónoma tanto con la cámara frontal como con la cámara inferior.

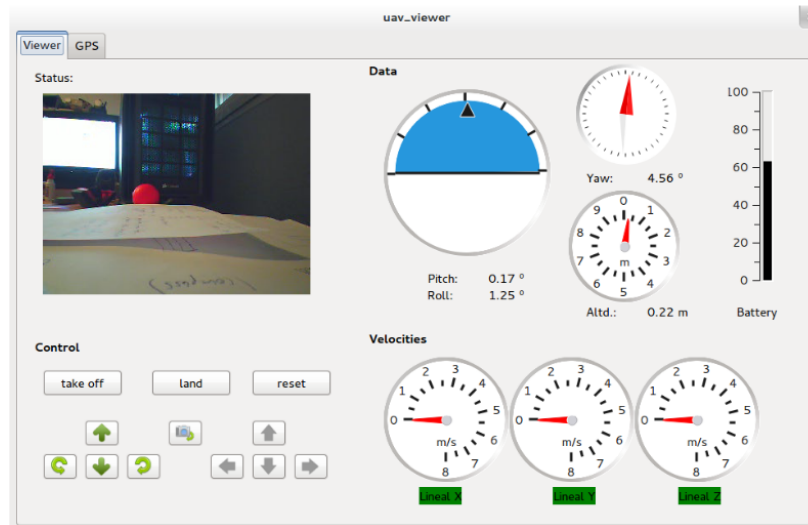


Figura 1.10: TFM Alberto Martín.

Daniel Yagüe: ⁴ Cuadricóptero AR.Drone en Gazebo y JdeRobot. En el cual su objetivo era proporcionar un soporte para robots aéreos en el entorno JdeRobot dentro del simulador Gazebo y crear varias aplicaciones de navegación para validarlo en entornos reales.

Alberto López-Cerón Pinilla: ⁵ Autocalización visual robusta basada en marcadores. Su objetivo principal era crear un algoritmo de autocalización visual

³<http://jderobot.org/Amartinflorido-tfm>

⁴<http://jderobot.org/Daniyague-pfc>

⁵<http://jderobot.org/Alopezceron-tfm>

basado en marcadores, es decir , a partir de la detección de balizas. Fue creado tanto para el entorno de simulación como para entornos reales.

Arturo Vélez: ⁶ Seguimiento de un objeto con textura desde un drone con cámara. Aquí trabajó en un seguimiento visual, esta vez sin filtro de color, donde el dron sigue una textura en movimiento detectando unos puntos de interes para reconocerla.

Manuel Zafra: ⁷ Seguimiento de rutas 3D por un drone con autolocalización visual con balizas. Diseño un sistema de vuelo autónomo para drones en espacios interiores, basandose en la autolocalización mediante la visión artificial.

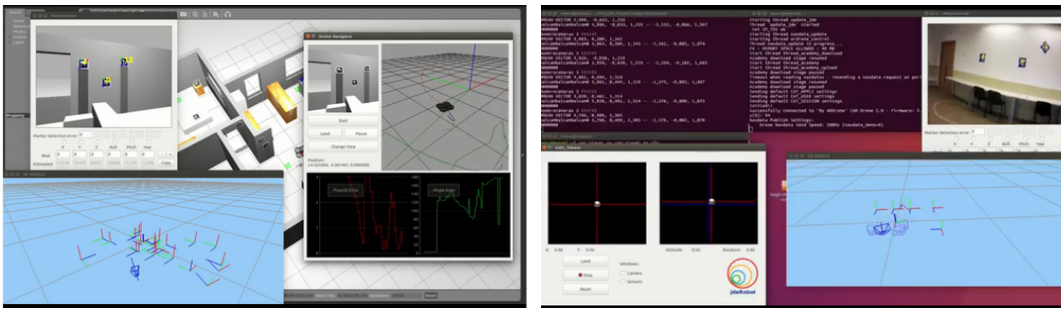


Figura 1.11: TFG Manuel Zafra.

Jorge Vela: ⁸ Despegue, navegación y aterrizaje visuales de un drone usando jderobot. Se centro en la localización y aterrizaje controlado de un drone mediante la deteccion visual de balizas.

⁶<http://jderobot.org/Avelez-tfg>

⁷<http://jderobot.org/Mazafrav-pfc>

⁸<http://jderobot.org/Jvela-tfg>

Capítulo 2

Objetivos

Una vez introducidas las motivaciones que me han llevado a hacer este tfg y expuestos los conceptos mas importantes que se deben saber para comprender la totalidad del trabajo, en este capitulo se van a exponer los diferentes problemas que se abordaran a lo largo de la memoria, los requisitos para poder abordar estos problemas y por último la metodología y el plan de trabajo que se ha seguido.

Problemas a abordar

El objetivo principal de este trabajo es la creación de un sistema que permita el funcionamiento de un dron completamente autónomo con esto queremos decir que despegue de forma controlada, siga una ruta previamente establecida y aterrice tambien de forma controlada. Para la parte de enrutamiento el drone ha de conocer en todo momento su posición en el entorno mediante técnicas de visión por computador basadas en marcadores visuales artificiales, mientras que para el despegue y aterrizaje controlados debe reconocer las balizas por visión cuya posición es desconocida.

Conociendo el objetivo principal este se ha desglosado en varios subobjetivos para poder abordarlo correctamente:

1. **Utilización de la herramienta Visual States:** La cual nos permitirá crear la jerarquía necesaria para poder pasar de un estado a otro mediante transiciones y

así poder dividir nuestro programa e ir mejorándolo e implementando las nuevas creaciones sin tener que modificar las otras partes, además de esto creará una interfaz gráfica en la cual representa el comportamiento del robot gráficamente y así se puede distinguir el estado en el que se encuentra. Esta representación gráfica permite un mayor nivel de abstracción para el usuario, ya que solo tiene que preocuparse por programar las acciones actuales del robot y seleccionar qué componentes puede necesitar de la interfaz del robot.

2. **Adaptación e integración del componente Slam-Visualmarkers:** Como nadie había utilizado la herramienta de Visual States integrando el componente de slam-visualmakers hemos tenido que ajustar este componente e introducirlo por pasos para poder finalmente conseguir su correcto funcionamiento en la misma.
3. **Recodificación e integración del aterrizaje visual:** Ya que este estaba creado a partir de una posición dada en altura y contaba con temporizadores y una maquina virtual de estados. Por esto se ha modificado para poder integrarlo en nuestro sistema de navegación y además a partir de este se ha creado el propio sistema de despegue controlado.
4. **Desarrollo de dos componentes de navegación basados en la posición absoluta del drone:** Ambos serán controles de pilotaje aplicados sobre las posiciones obtenidas por el componente slam-visualmarkers, la diferencia radicara en que a uno le estableceremos una serie de puntos o balizas a los cuales debe de llegar mientras que el otro deberá seguir una ruta.
5. **Validación experimental en entorno simulado Gazebo:** Se creará un mundo tridimensional en el que se realizarán las pruebas pertinentes para determinar la robustez del sistema en conjunto. Se examinará para ambos componentes de navegación el error de la estimación de posición y cómo este puede afectar al sistema de pilotaje del cuadricóptero, además se comparara con anteriores sistemas de pilotajes y se verán las posibles mejoras. También

se calculará el error producido en la estimación de posición por el componente Slam-Visualmakers.

Requisitos

Una vez descritos todos los objetivos, lo siguiente es nombrar los requisitos que va a satisfacer la aplicación que hemos desarrollado:

- El algoritmo funcionará en la plataforma de desarrollo JdeRobot-5.6.3.
- El sistema se ejecutara en el entorno GNU/Linux Ubuntu 16.04.
- La aplicación se ejecutara en el simulador Gazebo con la utilización del robot Ar.Drone.
- El sistema debe ser exportable a cualquier escenario que sea un espacio simulado controlado y contenga marcadores AprilTags con posiciones conocidas.
- Para la autolocalización, el sistema sólo puede depender de las imágenes servidas por la cámara del dron y utilizando el componente Slam-Visualmarkers.
- El control de navegación mediante el pilotaje debe ser suave para no perder los marcadores y balizas, pero tambien robusto, fluido y vivaz para que el dron se mueva de forma ágil y veloz por el entorno y sus rutas establecidas.
- Programado en Python 2.7.

Metodología

Al tratarse de un trabajo de integración y desarrollo software el modelo de trabajo que se ha seguido ha sido el de desarrollo en espiral. Este modelo nos ha permitido trabajar de forma progresiva, es decir, empezando por las partes mas sencillas y a medida que las íbamos logrando ir avanzando hasta las mas complejas. Para ello

la forma de conseguirlo fue mediante la marcación de hitos o pautas a alcanzar que se revisaban periódicamente mediante reuniones con el tutor, de esta forma se analizaban si se había conseguido llegar al resultado esperado en cada etapa y así poder pasar al siguiente objetivo analizando para ello las posibles rutas que se podían seguir según la toma de decisiones y la evaluación de riesgos. Cuando se alcanzaba un objetivo lo suficientemente importante se creaba una entrada en el cuaderno de bitácora de JdeRobot, el cual es público y nos ha servido para llevar un seguimiento de las áreas realizadas y como punto de comunicación con el tutor para saber las dificultades que teníamos y como poder solucionarlas.

En el siguiente enlace del mediawiki o cuaderno de bitácora mencionado anteriormente se pueden encontrar desde fotos y videos de la practica final como resultados y pasos iniciales que se hicieron para adentrarse en el mundo de la programación de robots y drones <http://jderobot.org/Jsaizc-tfg>. Tambien se puede visitar el código de todas estas etapas que se observan en el mediawiki, este es de acceso público en GitHub <https://github.com/RoboticsURJC-students/2017-tfg-jesus-saiz>.

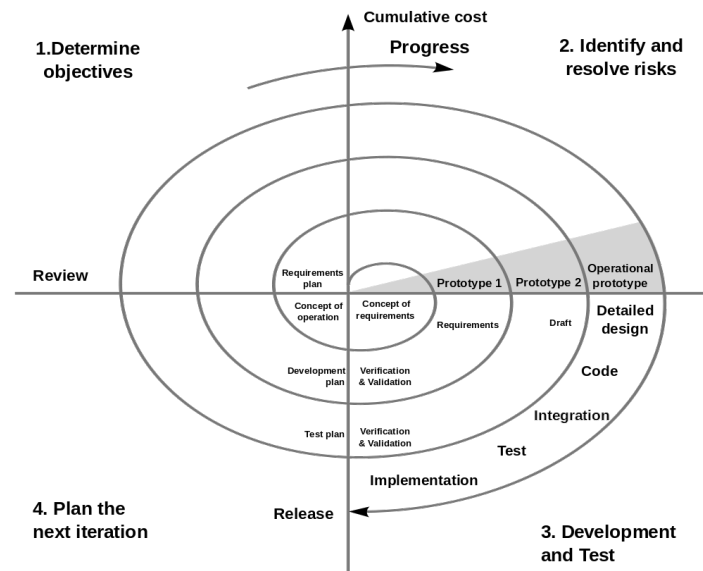


Figura 2.1: Representación del desarrollo en espiral.

Plan de trabajo

Para conseguir la metodología de trabajo expuesta anteriormente se ha seguido una planificación dividida en las siguientes fases:

- **Programación en Python:** Necesaria para poder entender el código anterior en el que me he basado y crear el mio propio. Con el conocimiento de c/c++ y una serie de guías de ayuda fue el primer paso de aprendizaje.
- **Formación en JdeRobot:** Había que comprender el funcionamiento de la plataforma y saber todas las herramientas con las que contaba para saber en que te podías basar y que era lo que tenias que desarrollar tu mismo. Para ello se realizaron una serie de programas simples en los cuales trabajabas con distintos robots y con diferentes herramientas, teniendo así los primeros contactos con programación de robots simulados y reales.
- **Familiarización con Gazebo:** El simulador utilizado preferentemente en JdeRobot, en el hubo que crear el entorno de simulación sobre el cual se basaría el programa de vuelo del drone.
- **Estudio y desarrollo del interfaz gráfico:** El programa se ha desarrollado sobre la aplicación Visual States, la cual he tenido que aprender para conseguir introducir todas las etapas y que funcionase correctamente.
- **Aprendizaje e integración del componente de autolocalización:** Necesario para conocer el funcionamiento de este componente y poder manejar los parámetros y las balizas con las que trabaja, para así poder conseguir una correcta autolocalización del drone y tambien obtener los errores de la herramienta y extraerlos de los errores de pilotaje.
- **Adaptación y desarrollo del control de aterrizaje:** Para poder adaptarlo a la aplicación de Visual States y a su vez crear un propio sistema de despegue del drone.

- **Desarrollo del algoritmo para el control de pilotaje:** De dos formas diferentes, por un lado el algoritmo de seguimiento de puntos y por otro lado el de seguimiento de trayectorias. Ambos capaces de gobernar el movimiento del dron para seguir las rutas en 3D.
- **Validación experimental en entornos simulados:** Para comprobar y validar el correcto funcionamiento de las fases anteriores se realizaron una serie de experimentos en entornos simulados, con estas pruebas se detectaron posibles comportamientos erróneos que corrigiéndolos se consiguió estabilidad en el sistema y una posible viabilidad en entornos reales.

Capítulo 3

Infraestructura

Jderobot (todo lo utilizado)

Gazebo

Visual States

Bibliotecas

Antecedentes

Capítulo 4

Desarrollo

JDeRobotAcademy

Diseño (mundos y visual)

Primer problema abordado (drone simple)

Creación de rutas (posicion dada)

Aterrizaje visual

Anexionar lo anterior en un solo programa

Crearlo con VisualStates

Cambiar localización dada por slam-visualmarkers

Dividirlo en autolocalización y control ?

Capítulo 5

Experimentos (de momento todos simulados)

Capítulo 6

Conclusiones

Conclusiones

Trabajos futuros

Capítulo 7

Bibliografía

<http://www.elai.upm.es/moodle/mod/resource/view.php?id=131>

<http://blog.sandglasspatrol.com/index.php/articulos/41-militar/758-uavs-clasificacion-tendencias-y-normativa-de-espacio-aereo>