



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

GRADO EN INGENIERÍA TELEMÁTICA

TRABAJO FIN DE GRADO

**DESPEGUE, NAVEGACIÓN Y
ATERRIZAJE VISUALES DE UN DRONE
USANDO JDEROBOT**

Autor: Jorge Vela Peña

Tutor: José María Cañas Plaza

Curso académico 2017/2018

Resumen

Es cada vez más común el uso de drones en el día a día de las personas. Se puede observar cómo han explotado en estos últimos años como un aparato de entretenimiento. Los UAV se comenzaron a utilizar hace muchos años con fines bélicos, y poco a poco su desarrollo ha permitido que se utilicen en ámbitos muy diferentes, como la robótica, gracias, por ejemplo, al comportamiento autónomo de éste, trabajando también en una navegación en interiores.

Durante este proyecto se ha diseñado y programado un algoritmo con la finalidad de que el drone navegue de forma autónoma y no necesite a ninguna persona diciéndole lo que tiene que hacer en cada momento o controlandole, sino que se pueda confiar en el una vez abandone el punto de origen. Para conseguir esto hay que tener en cuenta los distintos estados en los que se puede encontrar el drone (como puede ser despegando, en periodo de búsqueda o aterrizaje), situándose en cada uno de estos dependiendo de lo que este viendo en cada instante. Para el desarrollo de la visión se ha trabajado en la detección visual objetos, haciendo esto a partir de filtros de color, que nos permite detectar si un objeto es o no el deseado y de esta forma poder dirigirnos a él. Cabe destacar que este tiene que ser un objeto bien elegido y que sea difícil de confundir con los demás, para poder asegurarnos de un correcto funcionamiento. Para toda esta programación nos hemos apoyado en el entorno JdeRobot, utilizando OpenCV para el procesado de imágenes.

El algoritmo programado se ha validado experimentalmente, tanto en un drone simulado (en simulador Gazebo), como en un drone real (utilizando el Ardrone2 de parrot). Se ha conseguido un comportamiento satisfactorio funcionando en tiempo real. Todo el software desarrollado y los vídeos de las pruebas está accesible públicamente.

Contents

Índice de figuras	III
1 Introducción	1
1.1 Historia de los drones	1
1.2 Aplicaciones actuales	3
1.2.1 Medios Audiovisuales	4
1.2.2 Seguridad	4
1.2.3 Sector agrícola	5
1.2.4 Inspección	6
1.2.5 Emergencias	7
1.2.6 Proyectos de empresas	7
1.3 Hardware	10
1.4 Software	15
1.5 Robótica aérea en el laboratorio de la URJC	18
2 Objetivos	20
2.1 Objetivo principal	20
2.2 Requisitos	21
2.3 Metodología	21
2.4 Plan de trabajo	22
2.4.1 Formación	23
2.4.2 Desarrollo de la percepción robusta de la baliza	23
2.4.3 Desarrollo de control visual de aterrizaje y despegue	23
2.4.4 Desarrollo del control de búsqueda	23

3 Infraestructura utilizada	24
3.1 Parrot AR.Drone 2.0	24
3.2 Gazebo	27
3.3 JdeRobot	27
3.4 OpenCV	29
4 Algoritmo	31
4.1 Diseño	31
4.2 Percepción	33
4.3 Control	43
4.4 Funcionamiento del algoritmo	46
5 Experimentos	48
5.1 Percepción	49
5.2 Despegue	50
5.3 Búsqueda	51
5.4 Aterrizaje	53
5.5 Algoritmo completo	55
6 Conclusiones	57
6.1 Líneas futuras	59

List of Figures

1.1	Drone grabando para la publicidad de una marca de coches.	4
1.2	Empresa Prevent Security Sistems utiliza drones para videovigilancia en grandes superficies	5
1.3	Empresa Novadrone utiliza drones para la gestión de las explotaciones agrícolas	6
1.4	Desarrollan en la universidad de Holanda un dron que lleva incorporado un desfibrilador	7
1.5	Drone detectando código RFID.	9
1.6	Esta imagen muestra los movimientos que tiene un dron.	10
1.7	Distintas partes del drone.	15
3.1	Esta imagen muestra el conjunto de herramientas utilizadas.	29
4.1	Esta imagen muestra un primer filtro de color.	34
4.2	Esta imagen muestra el conjunto de herramientas utilizadas.	35
4.3	Imagen que muestra la suma de las diferentes imágenes creadas por cada objeto.	41
4.4	Imagen que muestra el diagrama de estados.	45
5.1	Drone detectando objeto.	49
5.2	Detectando baliza real.	50
5.3	Despegue	51
5.4	Busqueda	52
5.5	Busqueda	53
5.6	Aterrizaje	54

5.7	Aterrizaje	55
5.8	Algoritmo completo sobre el simulador.	56

Chapter 1

Introducción

Cada vez es más común el uso de drones para labores que pueden ser muy diversas, como puede ser grabar un plano para una película o mantener vigilado un lugar sobrevolando estas zonas. Una parte en la que se dan grandes avances es la robótica aérea, y una parte funcionalidad concreta es la navegación autónoma de estos, conseguir que realicen ciertas tareas sin que haya nadie controlando su ruta ni como se realiza esta. Para ello, hay que contar con los distintos sensores que se le pueden añadir a un drone y la forma de utilizar estos en beneficio propio para conseguir dicha navegación.

En los siguientes párrafos se va a realizar una breve introducción sobre estos aparatos, la historia que tienen, los distintos usos que hay para ellos actualmente, su hardware y software principal.

1.1 Historia de los drones

Los drones son conocidos como UAV (vehículos aéreos no tripulados). El primer registro de UAV se trata de un globo aeroestático en un entorno militar en el año 1849, que se podía utilizar para sobrevolar una zona y lanzar bombas desde cierta altura sin

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

necesidad de que hubiera ninguna persona en éste y, por tanto, sin arriesgar una vida. Este UAV es muy distinto a lo que vino después, principalmente porque el motor de éste se trata de una bolsa que tiene un gas más ligero que el aire, lo que le permite coger altura y jugar con las corrientes de viento para desplazarse en una dirección o en otra.

Ya en la primera guerra mundial se comenzaron a utilizar para sobrevolar las áreas enemigas y hacer fotos para así tener un control de sus movimientos (el introducir una cámara en un UAV es algo que se hizo desde los primeros momentos, pero en ello ya profundizaremos más adelante). Estos vehículos eran aviones tripulados por radiofrecuencia, por lo que se dió un gran salto con respecto al anterior, pues era mucho más fácil su control, por lo que podían manejar su trayectoria con mucha más facilidad.

También durante la primera, pero más desarrollado para la segunda guerra mundial, se le dio uso a éstos para utilizarlos como explosivos, ya que podían seguir su trayectoria en todo momento y asegurarse que llegaban al destino correcto. Además de poder seguir a otros vehículos en movimiento del bando enemigo y así hacer que este no llegara a su destino.

Está claro que los inicios de estos tenían sólo fines militares y que su desarrollo era exclusivamente para ello. En comparación con estos datos, el avance sobre estos frenó en gran medida y ya lo que se hacía era modificaciones para poder dar uso a lo que ya había, pues se utilizaban para vigilancia aérea en zonas de conflictos, lo que llevó a mejorar el sistema de control haciendo así que se pudieran manejar a una mayor distancia.

Fue alrededor de 1980 cuando se vió que la tecnología y el software de los UAV eran de gran fiabilidad y se podían asignar a estas tareas de mayor responsabilidad para no jugarse la vida de los pilotos. Una vez no estaban los pilotos en la cabina del vehículo se podía jugar con mayor libertad a la hora de realizar movimientos, ya que ciertos giros que los pilotos no podían realizar por ser demasiado bruscos para aguantarlos el

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

cuerpo humano, ahora podían hacerlos con la brusquedad que permitiera el sistema.

Ya en la década de los 90 se da un avance muy importante, y es que se desarrolla el sistema GPS para el desplazamiento de estos vehículos. Esto permitía no depender de la radiofrecuencia, ya que con ésta vamos a tener un límite en distancia y no revisar los datos para ver en todo momento su situación y dirigir la trayectoria. Con éste sistema se traza una ruta al inicio y el UAV puede trabajar de forma autónoma.

Con todo esto, cabe destacar el gran avance que ha sufrido la robótica aérea. Esto se debe a que, en torno al año 2000 y en adelante, se ha profundizado en el uso civil de los drones y no tanto militar. Por un lado en la parte aeroespacial, cada vehículo innovador mejora con creces al anterior debido a cualidades como diseño, estructura o materiales, que permiten mayor velocidad y resistencia. Y por parte de la robótica ocurre lo mismo, está en un continuo desarrollo, y viendo el futuro que tienen los drones muchas empresas y grupos de investigación han decidido centrarse en ellos, pudiendo así mejorar a diario el software de estos, lo que permite un control más fluido, gracias al envío y procesamiento de información, así como controlar mejor en todo momento el estado que se encuentra el drone (batería, posicionamiento en los distintos ejes o velocidad).

1.2 Aplicaciones actuales

Teniendo ya el contexto de las distintas características que tiene un drone, se va a proceder a describir los distintos usos que se le pueden dar a estos. Se ven en la sociedad en general para terminar viendo usos mas específicos de la robótica aérea, concretamente los que llevan a que este pueda trabajar de manera autónoma.

1.2.1 Medios Audiovisuales

El drone es un elemento que se ha incorporado últimamente en este sector debido a la cámara que pueden tener. Gracias a esto permite tomar planos de ciertas zonas o fotografías que serían muy difícil de obtener en condiciones normales. También se debe a que el precio de estos es asequible, por lo que se puede acceder a ellos con facilidad, y en un sector tan amplio y vistoso como es este, lleva a un uso cada vez más común.



Figure 1.1: Drone grabando para la publicidad de una marca de coches.

1.2.2 Seguridad

Teniendo un drone en un lugar como pueda ser una nave industrial, podemos hacer que este se desplace grabando en todo momento lo que ve, y si se detecta algo sospechoso en algún lugar el drone se diriga allí en el momento para obtener imágenes de lo que está pasando.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN



Figure 1.2: Empresa Prevent Security Sistems utiliza drones para videovigilancia en grandes superficies .

1.2.3 Sector agrícola

El uso de drones en este sector se encuadra en la agricultura de precisión. Se debe a la facilidad con la que un drone puede sobrevolar una zona y ofrecer imágenes de alta calidad, obteniendo un buen control de los cultivos en menos tiempo, con menos gasto y al tratarse de un vehículo eléctrico al evitar desplazamientos de otros automóviles conlleva un menor impacto ambiental. Además, este permite ver con facilidad el estado de la cosecha, detectar enfermedades o plagas, permiten fumigar desde el aire con mayor precisión, ya que les puedes programar una ruta y que sigan ésta. También podrían obtener otros datos como las zonas con mas y menos agua, y obtener las condiciones del terreno y ver si son óptimas para esperar cierto resultado. En este tipo de drones, aparte de la cámara son de importancia otros sensores, como los de temperatura y humedad, o infrarrojos para captar el espectro infrarrojo de las plantas.



Figure 1.3: Empresa Novadrone utiliza drones para la gestión de las explotaciones agrícolas .

1.2.4 Inspección

En este apartado podemos englobar diversas actividades, como puede ser mantenimiento de edificios y construcciones, redes eléctricas o diversas instalaciones industriales como aerogeneradores eólicos y estados de paneles solares. Al igual que en el apartado anterior, aquí podemos recorrer grandes distancias, por ejemplo para comprobar las redes eléctricas, sin la necesidad de que un operario pierda mucho tiempo recorriendo dicha línea. Con las instalaciones solares por ejemplo, desde un plano superior podríamos observar si todas las placas están en las condiciones óptimas y en caso de existir algún fallo poder identificarlo con facilidad. Para edificios y aerogeneradores lo que hay que tener en cuenta es la altura que pueden tener, y a la cual con un drone llegaríamos con facilidad y observaríamos si hay algún problema. En estos casos lo que evitamos, como anteriormente he comentado, es que alguien tenga que ir sitio a sitio perdiendo mucho tiempo. Destacando también que este tipo de actividades se pueden implementar programas que directamente detecten las anomalías, sin necesidad de que haya una persona revisando en todo momento las imágenes, donde también con una inversión inicial, al final ahorraríamos mucho tiempo y dinero. Un ejemplo de ésto lo podemos ver en la empresa Iberdrola, la cual ha incorporado drones para el mantenimiento e inspección de infraestructuras, utilizando drones por ejemplo para el mantenimiento de las palas de los aerogeneradores. Unión Fenosa también ha

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

incorporado los drones para la inspección de los tendidos eléctricos.

1.2.5 Emergencias

Cuando ocurren ciertas catástrofes naturales por ejemplo, son de gran ayuda debido a la velocidad con la que pueden llevar materiales (médicos o de otro tipo) a la zona afectada. Un ejemplo de esto es el *Angel Drone*, proyecto desarrollado por la universidad de Sídney, que puede llevar materiales quirúrgicos o plasma sanguíneo, por ejemplo.



Figure 1.4: Desarrollan en la universidad de Holanda un dron que lleva incorporado un desfibrilador .

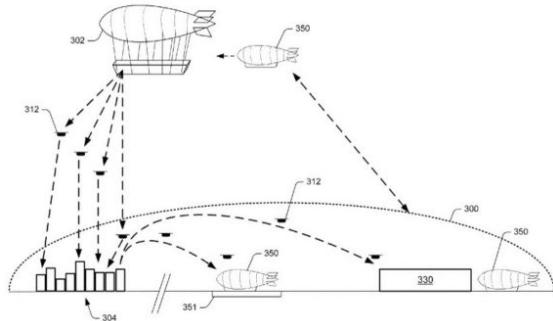
1.2.6 Proyectos de empresas

Es muy importante este ámbito, pues determinados grupos y grandes empresas están trabajando en su desarrollo debido al futuro que se viene por delante. Esto se debe a la facilidad que puede llevar esto para realizar grandes tareas, como el control de material en almacenes o transporte de material de un lugar a otro. Una característica importante es la rapidez con la que pueden llegar los drones de un lugar a otro, y acceder a lugares que es difícil por otros vehículos. De momento las distintas empresas que están integrando esta tecnología en el uso diario, no tienen todavía proyectos

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

terminados que realicen todas las tareas, pero si tienen distintos prototipos o proyectos piloto, de los que se pueden destacar algunos casos.

Por un lado, como pionero en este área se encuentra **Amazon**, el cual lleva desarrollando desde 2013 una tecnología que permite el reparto de paquetes mediante drones. La idea cuenta con doce prototipos, debido en parte a los distintos tipos de UAV que tienen. Esta tecnología lleva consigo los llamados almacenes aéreos, es decir, un almacén que se mantendría en el aire gracias a dirigibles, el cual tiene paquetes a entregar y drones. El drone obtendría el paquete que se debe entregar y lo llevaría al lugar adecuado. Tras esto volvería a un almacén hasta que se le mande de nuevo al almacén aéreo para el siguiente reparto. Estos drones sabrían en todo momento en el estado y en el punto en el que se encuentran, es decir, que saben a qué lugar deben ir dependiendo de la tarea a realizar.



Por otro lado, también para el reparto de mercancías se encuentra **Google**, llegando a tener un programa piloto en Australia en el año 2014, pero no consiguió llevarlo a Estados Unidos. Aun así, consiguió hacer pruebas en una universidad de reparto de comida, un reto que supuso principalmente que la comida llegara rápido a su destino y en buenas condiciones. Además también sirvió para ajustar los sistemas automáticos de vuelo y entrega de la mercancía.

A raíz de estos servicios de entregas, se ha producido otro desarrollo importante, como puede ser el de tener controlados los paquetes dentro de un almacén.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Un pionero de esto ha sido un grupo en el **MIT**, desarrollando un sistema que permite a los drones moverse por los almacenes escaneando los códigos de cada paquete, enviando esta información a un servidor y que este pueda tener controlados los paquetes que hay y donde están situados.



Figure 1.5: Drone detectando código RFID.

Para el traslado de mercancías en interiores también se ha puesto en marcha la cadena de supermercados estadounidense Walmart, cuyo objetivo es transportar productos de un lugar a otro previamente establecidos. La idea de este proyecto se debe a los grandes almacenes que tienen estos supermercados, y que cuando un cliente no encuentra el producto deseado, avisa a un empleado y éste tiene que ir al almacén a buscarlo, perdiendo mucho tiempo entre la distancia recorrida y la búsqueda del producto. Lo que conseguirían con esto, es que en caso de que los empleados estén ocupados, un cliente no tenga que estar a la espera, sino que con un dispositivo podamos pedir el producto y un dron se encargará de ir a por él y traerlo al punto donde nos encontraremos. Destacar que se incorporaron en las tiendas controladores aéreos para que los vehículos sigan una trayectoria segura.

1.3 Hardware

Hay que destacar las partes que tiene un drone y su forma, pues es gran parte lo que lo hace tan especial, permite que tenga una gran libertad de movimientos, ya que puede moverse sin problema desde cualquier punto hacia los ejes X, Y y Z. Lo que ganamos con esto son cosas como poder permitirse un aterrizaje y un despegue totalmente vertical, sin depender de un espacio en el que coger velocidad para poder levantar el vuelo, e igual con el aterrizaje, pudiendo el drone estando quieto en el aire bajar totalmente en vertical hasta tocar posarse sobre el suelo. Una vez en el aire pueden moverse adelante, atrás, izquierda, derecha, arriba, abajo y combinaciones de movimientos entre ejes, además de los movimientos Roll, Yaw y Pitch y sin necesidad de hacer movimientos bruscos. Sin embargo, en los anteriores UAV solo tenemos el movimiento hacia adelante, teniendo que jugar con Roll, Yaw y Pitch para poder movernos en los distintos ejes.

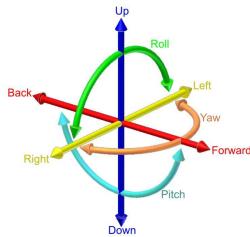


Figure 1.6: Esta imagen muestra los movimientos que tiene un dron.

Explicado esto, un desglose explicando cada una de las partes sería :

Frame: También conocido como marco, estructura o chasis. Es la estructura principal sobre la que se sitúan el resto de los elementos. Cambiará su forma dependiendo del drone, variando la longitud de las patas o el número de soportes para hélices, por ejemplo. Esta puede estar hecha por diversos materiales, generalmente se trata de algún tipo de plástico, ya que es un material que tiene poco coste y pesa poco. Un ejemplo es el polipropileno, que es ligero y con mucha resistencia, lo que permite

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

colocar sobre el la batería. Otro material que suele utilizarse es la fibra de carbono, ya que se trata de un material que pesa poco y es muy resistente, aunque puede tener factores negativos como su conductividad. Por ultimo, también nombrar la fibra de vidrio. Este material también es muy utilizado por ser ligero, y tiene características como que no es conductor de la electricidad. Es común ver estructuras híbridas entre distintos materiales, sobre todo juntando los dos tipos de fibra.

Hélices: Elemento formado por dos palas montadas de forma concéntrica sobre un eje, que al girar crean un par de fuerzas, permitiendo así el movimiento del dron.

Motores: Son los encargados de transformar la energía que llega en movimiento sobre el eje en el que se sitúan las hélices, para así permitirles a éstas hacer su trabajo. Este, a su vez, tiene distintos parámetros que serán principalmente los que permitan al drone llevar mayor velocidad.

El numero de vueltas que dé por minuto, lo que dependerá de los KiloVoltios. Suele estar en torno a 800-900kV.

El tamaño que éste tenga. Al mirar las especificaciones de un drone está en un numero de 4 dígitos, en el que los dos primeros hacen referencia al tamaño del rotor y los otros dos al tamaño de la bobina.

El empuje, valor que hacer referencia al peso que puede levantar el motor.

La corriente, se trata de la energía (amperios) que se consume cuando el motor está al máximo.

Batería: Encargada de proporcionar la energía suficiente para que el drone pueda realizar un vuelo, permitiendo trabajar a la placa controladora y motores. La característica principal de las baterías son los miliamperios, ya que es la que permitirá una mayor capacidad y por lo tanto que el drone tenga un mayor tiempo de vuelo. Existen baterías de muy diversos tamaños, desde los 350 mah en drones de juguete a, por ejemplo, los 4500mah que tiene la batería del drone 3DR solo. También es importante la tasa de descarga, que se trata de la máxima energía que puede entregar

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

y el periodo de tiempo durante el que puede hacerlo. Normalmente los drones traen sistemas de alerta que avisan cuando a la batería le queda poca energía, o que cuando queda un valor menor a cierto porcentaje de carga no permite despegar el drone, evitando así que se quede sin energía a mitad de un vuelo.

Equipo de transmisión: Es el encargado de que se comunique el drone con una estación receptora. Puede variar en función del aparato ya que se pueden usar diferentes tecnologías, pero principalmente se trata de radiofrecuencia o de Wifi. Existen casos, como el modelo 3DR, que combina ambas tecnologías, utilizando la radiofrecuencia para la información del movimiento, batería y posicionamiento, y el WiFi para la transmisión de imágenes en directo. Podemos encontrar distintos equipos de sistemas de transmisión, uno de los últimos y mas destacables es **Hyperion**, que utiliza un sistema óptico de comunicaciones capaz de transmitir hasta 1Gb por segundo, lo que permite la transmisión de datos mediante la luz directa. La principal característica de éste es que no pierde información cuando no hay contacto directo entre las dos estaciones. Pero vía WiFi es algo muy utilizado en los últimos momentos, pues permite controlar el dron desde una aplicación móvil, por lo que conectando estos dos tendríamos un mando que nos permite cambiar gran parte de la configuración del drone. También existen dispositivos que permiten el control mediante Bluetooth, pero éste es menos común ya que tiene mayor restricción de velocidad de datos y distancia.

Placa controladora: Es el procesador del drone, el que se encarga de recoger la información del drone y cuando le llega una orden ver que información tiene que mandar para que ésta se ejecute de forma correcta, así como en caso de haber un problema tratar de evitarlo. Es básicamente el hardware que utiliza el drone. Hay una gama muy amplia dentro de éste, donde cabe destacar **Pixhawk**, pero podemos encontrar varias con gran trascendencia:

- Pixhawk: Es el más utilizado debido a que trabaja con 3DRobotics y Ardupilot. Sirve para diversos dispositivos como son drones, helicópteros y barcos. Está

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

pensado para cualquier vehículo que tenga movimiento. Se trata de un proyecto hardware abierto, cuyo objetivo principal es proporcionar el hardware de autopiloto a comunidades académicas o gente que tiene esto como un hobby, teniendo así un bajo costo y una alta disponibilidad. Se trata de un piloto automático en tiempo real y muy eficiente, proporcionando un entorno de estilo POSIX. Éste es el autopiloto estándar de la industria, y por lo tanto, como veremos a continuación, a partir del cual se han desarrollado diversos autopilotos con distintas mejoras.

- Pixhawk2: Es una versión avanzada de la placa anterior. Tiene mejoras como aislamiento de vibraciones, 3 IMUs para redundancia (3 acelerómetros, 3 giroscopios, 3 magnetómetros y 2 barómetros) y sensor para controlar la temperatura.
- PixRacer: Éste se ha desarrollado para los drones de carreras, aunque también se utiliza en minidrones. Suele tener una mayor memoria flash.
- Navio2: Piloto automático diseñado de Raspberry Pi. Te permite convertir esta en un controlador de drone.
- PXFmini: Se trata de otro piloto automático de Raspberry Pi. Éste tiene la electrónica para la mayoría de los componentes que puede utilizar un dron.
- FlytPOD: Se trata de una placa Odroid XU4 SBC junto con una PixHawk. Puede volar diversos vehículos aéreos y su principal característica es el WiFi que tiene integrado. Existe una placa FlytPOD pro que se trata de una versión extendida de la anterior, teniendo todas sus características, pero con más sensores y mayor capacidad de almacenamiento.
- U-Pilot: Este hardware se caracteriza por servir para diversos vehículos aéreos, siendo programable para realizar todas las acciones de su camino de forma

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

automática. Su radioenlace con frecuencia en torno a 900Mhz permite controlar el dispositivo a una distancia de 100km.

Hay que destacar un elemento importante como es la **cámara**, que aunque no todos los drones la llevan sí que es algo bastante común. Algunos la llevan incorporada (incluso dos cámaras, una que apunta hacia la parte de delante y otra que apunta la parte de abajo) y otras que traen soporte para poder incorporar ciertas cámaras, normalmente consideradas camaras de acción, para así obtener una mejor calidad, e incluso incorporar adaptadores como puede ser una Gimbal para controlar la parte hacia la que queremos que apunte la cámara en cada momento o utilizarlo como estabilizador, para evitar así que afecten a la imagen diversos movimientos, generalmente bruscos, que pueda realizar el drone. Cabe destacar que en muchas ocasiones, utilizado normalmente para carreras de drones, la cámara sirve para integrar la tecnología FPV (First Person View), que es junto a la cámara, el transmisor de vídeo y el receptor de vídeo, poder ver en tiempo real las imágenes sobre una pantalla LCD o utilizando unas gafas de realidad virtual. En este aspecto, en los últimos años se ha visto por otro lado un gran avance de la realidad virtual, y es también hay una gran variedad en este mundo, pues existe una gama que va desde las *cardboard*, que permiten con un trozo de cartón y un par de lentes, poniéndolos de cierta forma y con el uso de un smartphone, tener de forma sencilla unas gafas 3D, hasta gafas para la videoconsola que te permiten entrar en el videojuego, añadiendo una gran calidad de imagen y con un sonido envolvente para entrar de lleno en el ambiente. Pero una de las cosas mas impactantes es el conjunto que se ha creado con el drone **FLYBi**, estando éste conectado a unas gafas de realidad virtual que tienen sensor de movimiento, lo que te permite sentir que eres tú el que vuelas y el que estás en el lugar del dron, y con cualquier movimiento que sientan las gafas la cámara del drone lo imitará. En caso de que esto parezca incómodo el drone tiene un joystick con el que enviará la información de los elementos a realizar a la cámara.



Figure 1.7: Distintas partes del drone.

1.4 Software

Como sabemos, el software es el conjunto de programas que van a permitir realizar ciertas tareas, en este será lo que permita realizar al drone una navegación autónoma. Dicho programa estará instalado en la placa controladora, y por tanto sera el que ejecute para recoger la distinta información de los sensores, procesar la información y enviar las órdenes correctas a los distintos elementos de éste. Como se ha comentado anteriormente, el desarrollo de software para este tipo de robots ha evolucionado mucho en los ultimos años debido al uso civil que se le comienzan a dar y no tanto al desarrollo militar. Es importante destacar el software de **ArduPilot**, ya que se trata del software auto-piloto más avanzado, pero existen también otros que nos permiten el manejo de estos robots:

- **Ardupilot:** Es un sistema OpenSource encargado de recibir la información que se le da y de esta forma enviar las señales correspondientes a los actuadores. Se trata del software más importante debido a lo completo que es y confiabilidad que proporciona, debido a la gran cantidad de gente que lo utiliza (pilotos de drones profesionales y aficionados) y por el equipo de ingenieros que lo han desarrollado. Este software se caracteriza por la variedad de dispositivos que puede llegar a controlar, ya que trabaja con diversos dispositivos aéreos

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

(aviones, helicópteros, drones, etc) y con dispositivos marinos (como pueden ser los barcos y submarinos). Éste ha tenido un gran desarollo debido a su principal característica: OpenSource. Hay mucha gente creando interfaces para este y dichos usuarios comparten sus avances con el resto. A partir de éste han nacido controladores como Ardupilot Mega. El problema que tiene dicho software es que sólo permite trabajar con plataformas de los mismos creadores, lo que lleva al siguiente software. Otra característica es la facilidad con la que se le pueden añadir diferentes sensores, como pueden ser modulos GPS o cámaras, algo que facilitará la navegación autónoma.

- **Megapirate-NG:** Apareció como desarrollo del anterior. La funcionalidad de uno y otro es prácticamente la misma, con la diferencia de que éste permite trabajar con Hardware de otros creadores. El problema es que siempre depende de Ardupilot, por lo tanto sus funcionalidades, aunque sean mas cómodas para trabajar, puede que estén atrasadas.
- **MultiWii:** Éste se propuso como radiocontrol para drones. Es un sistema que fue creado por los desarrolladores y con los sensores (giroscopios y acelerómetros) de la Nintendo Wii. Es una plataforma basada en arduino, con el factor en contra de tener una funcionalidad bastante limitada.

Estos primeros son los softwares principales que estarán sobre el vehículo, pero también están los programas que se ejecutarían en otros dispositivos como el ordenador o el teléfono móvil para ver la información que este nos envía. Normalmente el fabricante del drone tiene ya un programa que realiza esta función.

En este punto es importante el protocolo de comunicación que habrá para comunicarse el vehículo con la estación terrena. Aquí hay un protocolo que destaca sobre los demás, el **MAVLink** (Micro Air Vehicle Communication Protocol). Éste protocolo tiene la información contenida en ficheros .xml, lo que permite utilizarlo en

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

diversos lenguajes de comunicación, lo que conlleva una mejora notable en su desarrollo. Al tener el fichero .xml los tipos de mensaje, permite con facilidad añadir nuevos tipos para asignar una tarea nueva a cada uno. Otra ventaja de este es que hay muchos software de drones que lo soportan, como pueden ser Ardupilot, Autopilot, algunos derivados de estos y otros como Gentlenav o Flexipilot, y desde la estación tierra algunos como MAVProxy, Mission Planer o APM planner. Un problema en este protocolo es que los datos no están encriptados en la comunicación, por lo que es más fácil un ataque y que se manipulen los datos, siendo detectable si se hace perder algún dato ya que se utiliza CRC (código de redundancia cíclica para detectar cambios en los datos, este se utiliza en protocolos como TCP). MAVLink utiliza otro software llamado MAVProxy para poder acceder a los datos del vehículo, como la velocidad y las imágenes, lo que nos permitirá también saber qué datos mandarle para que funcione de forma correcta.

A parte de todos estos, existen también otras infraestructuras software como puede ser **JdeRobot**. En sí JdeRobot se trata de un software de desarrollo para robótica y aplicaciones de visión por computador. Éste puede trabajar con distintos sensores que le proporcionan información, en caso del dron con la información que le permite Ardrone Server, y gracias a esto puede controlar el dispositivo y ver los distintos datos. Con JdeRobot es muy sencillo tomar el control del hardware gracias a su programa de control. Tiene una gran API que permite realizar diversas tareas como trabajar con aparatos reales o simulados, y conectarse a ellos de forma local o a través de la red. Decir que para el trabajo realizado, esta plataforma ha sido muy importante, pues su componente para la cámara, su aplicación para filtros de color y la posibilidad de realizar diagramas de estado permite tener en todo momento datos importantes del dron y poder mantenerlo bajo control sin ningún problema. Destacar que se trata de un sistema OpenSource que permite trabajar con simuladores como Gazebo y con ayuda de librerías como OpenCV.

1.5 Robótica aérea en el laboratorio de la URJC

Es importante destacar que el inicio de este proyecto se ha podido dar gracias a otros proyectos realizados en el laboratorio de la universidad, en los que se hicieron grandes avances en el área de la robótica aérea y que nos han llevado a centrarnos en el caso de la situación por visión mediante balizas. Algunos casos de otros trabajos son los siguientes:

Alberto Martín trabajó en la navegación visual para el seguimiento de objetos. En este proyecto el drone trabajaba en los ejes X,Y y Z. Teniendo un objeto de determinadas características el drone era capaz de seguirlo, funcionando tanto en el eje vertical como en el horizontal. También era capaz de cambiar la orientación del drone en función de la situación del objeto.

Daniel Yagüe trabajó en con el ArDrone sobre gazebo, probando distintas funcionalidades y distintos escenarios. En este proyecto, también mediante control visual, realizó diversas pruebas como seguir líneas, seguir otro drone o seguir un recorrido mediante April Tags.

Manuel Zafra trabajo en la localización del Drone mediante April Tags. En este proyecto el drone iba detectando las diferentes April Tags que había situadas en los distintos lugares y gracias a ello sabía la posición en la que se encontraba y los movimientos a realizar.

Arturo Velez realizó un proyecto en el cual el drone seguía un objeto dada una textura y la autolocalización a partir de ésta. Si no se encontraba la textura el drone realizaba una búsqueda. También trabajó con April Tags y la autolocalización en función de lo que detectaba.

Por último nombrar el proyecto de Jorge Cano, quizás es el mas distinto a los anteriores y a lo que se ha trabajado aquí, ya que se centraba más en el hardware del drone, especificando los distintos materiales y su configuración con el software. Destacar que también realizó pruebas de vuelo para las cuales tuvo que trabajar en las

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

partes perceptiva y de control.

Una vez terminada la breve introducción, se va a explicar lo realizado en este proyecto. El orden seguido ha sido el siguiente:

En el capítulo 2 se redactan los objetivos propuestos y la metodología seguida para llegar hasta ellos.

En el capítulo 3 se redacta la infraestructura utilizada y como se ha trabajado con ella.

En el capítulo 4 se redacta el algoritmo realizado, como se ha programado y porque se han seguido unos u otros caminos.

En el capítulo 5 se redacta los distintos experimentos realizados y los resultados que se han obtenido.

Por ultimo, en el capítulo 6 se redactan las conclusiones a las que se han llegado tras finalizar este proyecto.

Chapter 2

Objetivos

Una vez presentado el contexto de este TFG en el primer capítulo, tanto en general como el más cercano, en este capítulo se van a explicar los objetivos concretos a conseguir y la metodología utilizada para llegar a ello.

2.1 Objetivo principal

El objetivo propuesto de este trabajo es conseguir que un drone navegará desde una baliza de partida a otra baliza de llegada, que debe reconocerse por visión y cuya posición es desconocida. Para esto, se han propuesto tres fases principales:

- **Percepción visual:** La percepción se basa un filtro de color. Dada una imagen de entrada, se deberá detectar una baliza previamente asignada para, en función de lo obtenido, enviar una información u otra al drone. Habrá que tener en cuenta objetos que sean del mismo color de la baliza, los cuales querremos descartar para que no interfieran.
- **Control:** En función de lo que perciba y del momento en el que se encuentre, se tomará una u otra decisión para realizar los movimientos oportunos en cada mo-

CAPÍTULO 2. OBJETIVOS

mento. Es importante que estos no sean bruscos, provocando desestabilizaciones del drone.

- **Validación experimental:** Cada vez que se dá un avance en los apartados anteriores, hay que validar su funcionamiento, tanto en simulación como en el drone

2.2 Requisitos

Para la realización de los objetivos anteriormente citados, se tiene que conseguir una solución que cumpla las siguientes características:

- 1^a Que funcione sobre JdeRobot-5.6, utilizando las herramientas necesarias para el control del drone, filtros de color y diagrama de estados.
- 2^a Que el algoritmo sea vivaz, la frecuencia de iteraciones es importante para un comportamiento ágil y fluido del drone, el procesamiento de imágenes o el control del drone no puede ser pesado computacionalmente, pues puede llevar a un algoritmo lento, y por lo tanto un mal control del drone.
- 3^a Que el algoritmo sea robusto, teniendo que funcionar tanto en el simulador, con imágenes puras y sin perturbaciones del vuelo, como en el drone real ArDrone2 de Parrot, donde las imágenes no son ideales, tienen ruido o donde si hay corrientes y turbulencias que afectan al vuelo.
- 4^a Programado en Python 2.7 .

2.3 Metodología

Se propuso un desarrollo en espiral. Para este desarrollo se proponían semanalmente reuniones con el tutor, en las cuales se presentaban unos objetivos a seguir en

CAPÍTULO 2. OBJETIVOS

función de lo que se había conseguido hasta el momento. Una vez propuestas estas tareas se evaluaban los distintos riesgos que se podían tomar en función de trabajar de una forma u otra, y los avances a los que se podía llegar por cada camino. Una vez hecho esto, se comenzaban a desarrollar los algoritmos para conseguir estos objetivos en función de la forma elegida. Después se probaban (en simulación o con el robot real, dependiendo del objetivo), se proponía otra reunión para determinar si los avances eran los deseados o no, y en función de esto planear unos objetivos u otros.



Se ha mantenido una bitácora web en la que se ha ido documentando el progreso en el desarrollo, el cual ha quedado reflejado mediante vídeos e imágenes en <http://jderobot.org/Jvela-tfg>. Además el código está disponible públicamente accesible GitHub <https://github.com/RoboticsURJC-students/2016-tfg-jorge-vela>.

2.4 Plan de trabajo

La planificación seguida en el desarrollo ha incluido las siguientes fases:

2.4.1 Formación

Comprender las distintas herramientas de JdeRobot y trabajar con ellas, creando programas simples y viendo que funcionaban, así como trabajar con distintos robots reales para tener una toma de contacto con ellos y no basarse solo en un trabajo sobre simulador.

2.4.2 Desarrollo de la percepción robusta de la baliza

Comenzar a trabajar con imágenes, datos que se obtenían y los cambios que podíamos hacer para obtener datos deseados a partir de los cuales mandar información. En este punto hubo que comprender la importancia que tendría la biblioteca OpenCV para este proyecto.

2.4.3 Desarrollo de control visual de aterrizaje y despegue

Unir estas dos tecnologías y conseguir un buen algoritmo que nos permitiera enviar información a partir de la imagen de la baliza obtenida en tiempo real a un drone y que éste la ejecutara de forma correcta y fluida.

2.4.4 Desarrollo del control de búsqueda

Al igual que en el apartado anterior, hay que enviar información al drone en tiempo real diciendo lo que tiene que hacer, pero en este caso diciendo como se tiene que comportar cuando no hay objetos de interés o cuando hay objetos que posiblemente lo sean.

Chapter 3

Infraestructura utilizada

En este capítulo se va a hablar sobre las distintas tecnologías utilizadas, tanto hardware como software, y las aplicaciones que han tenido en este proyecto.

3.1 Parrot AR.Drone 2.0

Éste ha sido el drone utilizado para hacer las pruebas en un entorno real y comprobar así que el desarrollo del algoritmo era el correcto.

La batería era de 1500mah, lo que en algunas ocasiones nos ha llevado a problemas, pues el tiempo de vuelo con esto es unos 12 minutos aproximadamente. Esto conllevaba que algunas pruebas en ocasiones eran muy difíciles de realizar, ya que si no salia el resultado esperado en los primeros intentos muchas veces había que parar la prueba durante bastante rato para continuar. Si las pruebas no eran de vuelo sino que era de imagen con este tiempo era suficiente, ya que el dron no gastaba tanta energía al relizar solo la retransmisión de los datos que obtenía la cámara. Un detalle curioso en este punto es el cambio de funcionamiento que se notaba una vez la batería estaba por debajo del 30/100, pues el despegue se hacía con menos fuerza y de forma más inestable, además las instrucciones de movimiento que se le mandaban las ejecutaba

CAPÍTULO 3. INFRAESTRUCTURA

con menos fuerza y por lo tanto de forma más lenta. La única solución posible para remediar este problema fue trabajar a la vez con 3 baterías, pero he de decir que en momentos que las pruebas eran muy continuas durante mucho tiempo, llegaba un momento que había que parar porque el tiempo de carga no era suficientemente rápido comparado con el de las 3 descargas.

El alcance que tiene éste con la estación tierra es de 50 metros, suficiente para las pruebas que han sido realizadas en este proyecto.

Este dron tiene una *placa base* ARM Cortex A8 de 1Ghz y un DSP de vídeo de 8Ghz. También posee una memoria RAM DDR2 de 1GB y 200Mhz. Este chip es el encargado de levantar una red WiFi, a la cual nos podemos conectar mediante el smartphone (hay una aplicación específica para ello), o como en este caso, mediante el ordenador, y de esta forma poder controlarlo. Esta placa base funciona con Linux.

Además, dicho dron cuenta con dos cámaras, una horizontal y otra vertical, lo que nos permite ver diversos planos en todo momento. Estas cámaras están conectadas a la placa base, lo que permite en todo momento la transmisión de imágenes en directo, gracias a las cuales podremos trabajar, será la información gracias a la cual podremos darle instrucciones al dron. Cabe destacar la diferencia de calidad que hay entre las cámaras, algo que se notaba al realizar pruebas con una cámara, y cuando todo era correcto y querías cambiar de cámara para realizar otra prueba, se podía observar como los colores perdían nitidez y se despreciaban algunos detalles, lo que te llevaba a cambiar cosas de los algoritmos que en un principio no se esperaban.

Ya para terminar, la velocidad de este drone puede llegar a alcanzar los 18km/h, algo que en este proyecto nunca he llegado a probar, pero sería algo poco aconsejable teniendo en cuenta la distancia de alcance, pues los 50 metros que tiene, si la estación terrena de comunicación está en un punto fijo, el dron tardaría 10 segundos en salirse de este rango.

Tras este dron, tengo que hablar del dron **3DR solo**. En un principio era éste sobre el que iba a funcionar el software realizado en el proyecto, pero al final hubo

CAPÍTULO 3. INFRAESTRUCTURA

diversos problemas debido al software del dron, pues no lleva una cámara integrada, sino que es una GoPro que va por otra parte la que se puede añadir para utilizar, se estuvieron valorando diversas opciones para que este tuviera una cámara de visión que contaré más adelante, pero dado que era un drone con unas muy buenas características y que se trabajaba de forma excelente con él, voy a comentar algunos detalles suyos.

Lo primero es que cuenta con *dos procesadores*, uno en el drone y otro en el mando de control. Destacar que la del mando del control se trata de una Pixhawk de 3DRobotics. Es importante decir que el drone y el mando se comunican mediante radiofrecuencia, y es el mando el que levantaba la red WiFi para poder conectarte al sistema. Esto es otro detalle negativo que tuvimos al trabajar con este drone, pues no podíamos prescindir del mando si en algún momento el proyecto llega a tal punto, lo que lleva al software a tener una limitación de distancia, aunque ésta sea considerable. Desde el mando era el que se le enviaban las instrucciones al dron, pero con software específico se le podía enviar las instrucciones al mando y ya éste comunica con el dron.

la *imagen en directo* la podíamos ver a través del teléfono a gran calidad (añadiendo la GoPro) pero situando la colocación de ésta antes del despegue.

Otro punto muy importante era la *batería*, tenía 5.200mAh de capacidad, que siempre nos fue suficiente para las pruebas que se realizaron, pero permite un tiempo de vuelo de 20 minutos. Decir que con este dron hubo menos tiempo de vuelo que con el anterior.

Y por último hay que hablar sobre la potencia que tiene el *motor* que permite alcanzar los 88.5km/h. Un inconveniente de tan alta potencia, son las corrientes internas que puede generar. En exteriores esto no supone nada ya que cuando se levanta aproximadamente un metro sobre el suelo, es capaz de estabilizarse él solo. Sin embargo, en interiores puede desestabilizarlo bastante, y como ocurrió en una prueba, ir dirección a la pared y sufrir algún daño como el romperse una hélice.

3.2 Gazebo

Este es un simulador que nos permite trabajar con distintos robots, en este caso con el Parrot ArDrone, y de esta forma poder probar los distintos avances que se iban realizando. Éste nos permitía realizar pruebas sin tener que preocuparnos por el material ni los daños que e podian causar. Gazebo permite la creación de entornos de manera precisa y poder probar los robots en distintos tipos de ambientes. Se trata de un programa OpenSource, lo que ha permitido su expansión con facilidad, y muchos añadidos como plugins o repositorios con robots comerciales para poder acceder a su uso. Esta plataforma ha sido en la que se ha trabajado principalmente durante todo el proyecto, pues existe en ésta un simulador de ArDrone, el cual se controlaba a través de las herramientas de JdeRobot. El escenario principal aquí utilizado consistía en el dron y un coche con una baliza, el cual tenía que encontrar, centrarse sobre ella y aterrizar. Cabe destacar que había una gran diferencia en los movimientos comparando con el dron real. Esto ha sido un problema en los periodos que se ha ido desarrollando el algoritmo en las dos partes a la vez, pues un mínimo retoque en Gazebo podía suponer un gran problema en el real, aunque para probar como podían ser los distintos movimientos ha sido de gran ayuda, así como la parte de visión, ya que era muy sencillo comprobar cualquier modificación, ver si algo funcionaba sobre un entorno perfecto y de esta forma haber mejorado esta parte continuamente.

3.3 JdeRobot

Este es el software principal con el que se ha trabajado. Se trata de un proyecto de software libre que se centra en la robótica y en la visión por computación. Este software cuenta con distintas herramientas como filtro de color o control de los diferentes robots, que ha permitido un continuo desarrollo desde el inicio.

En primer lugar se utilizo *color filter* para ver el funcionamiento de los filtros de

CAPÍTULO 3. INFRAESTRUCTURA

color. Esta herramienta nos permite, a partir de una imagen o vídeo, trabajar en los distintos espacios de color (como puede ser RGB, HSV, HSI...) y poder ir variando los parametros máximo y mínimo (entre 0 y 255) de cada uno para ver que colores cumplen las características y cuales no, viendose de esta forma, en otra imagen, sólo los colores que pasan este filtro dejando el resto como un fondo negro. Una vez utilizada esta herramienta y realizamos pequeños algoritmos para ver que funcionaba igual un filtro propio que este filtro, pasamos a trabajar con otra llamada *follow turtleboot*. Ésta nos permitía manejar el dron, teniendo un cuadro que nos permite el movimiento en los ejes X e Y, una barra para realizar un cambio en la altura y un pequeño círculo para que pudiera rotar sobre sí mismo. Por otro lado tenía un botón para aterrizaje y despegue y unos botones que permiten iniciar un algoritmo creado, de forma que podemos probar si lo programado funciona. Esta herramienta puede sacar tres cuadros diferentes, uno para la cámara, el cual nos da una imagen en directo de lo que está transmitiendo el dron y nos da la opción de elegir la cámara que queremos ver. El segundo, nos muestra las distintas propiedades del dron en ese momento como la orientación, altura o inclinación. Por último, el último cuadro es para el filtro de color. Éste funciona cuando el algoritmo programado está en marcha. En un primer momento como indica su nombre, nos permite trabajar con el filtro de color que habíamos practicado antes sobre la otra herramienta, pero al final utilizamos éste para realizar marcas sobre la imagen de las cosas que nos interesaban de esta, como puede ser encuadrar la baliza, la cruceta o pintar sobre ésta. Por último, a todo esto le hemos añadido un diagrama de estados, gracias a una pequeña aplicación desarrollara a partir de *visualHFSM*. nos permitía crear un dibujo de los diferentes estados por los que debería pasar el dron, según lo que estuviera viendo en cada momento o la acción concreta que estaba realizando. De esta forma se marca en el diagrama en el estado en el que se encuentra, pudiendo saber así cual sería el siguiente estado esperado y viendo que funciona de forma correcta.

En la siguiente figura podemos observar un ejemplo de este conjunto, pudiendo ver

CAPÍTULO 3. INFRAESTRUCTURA

el diagrama de estados y la imagen con los datos interesantes marcados tras haber procesado la imagen con el filtro de color:

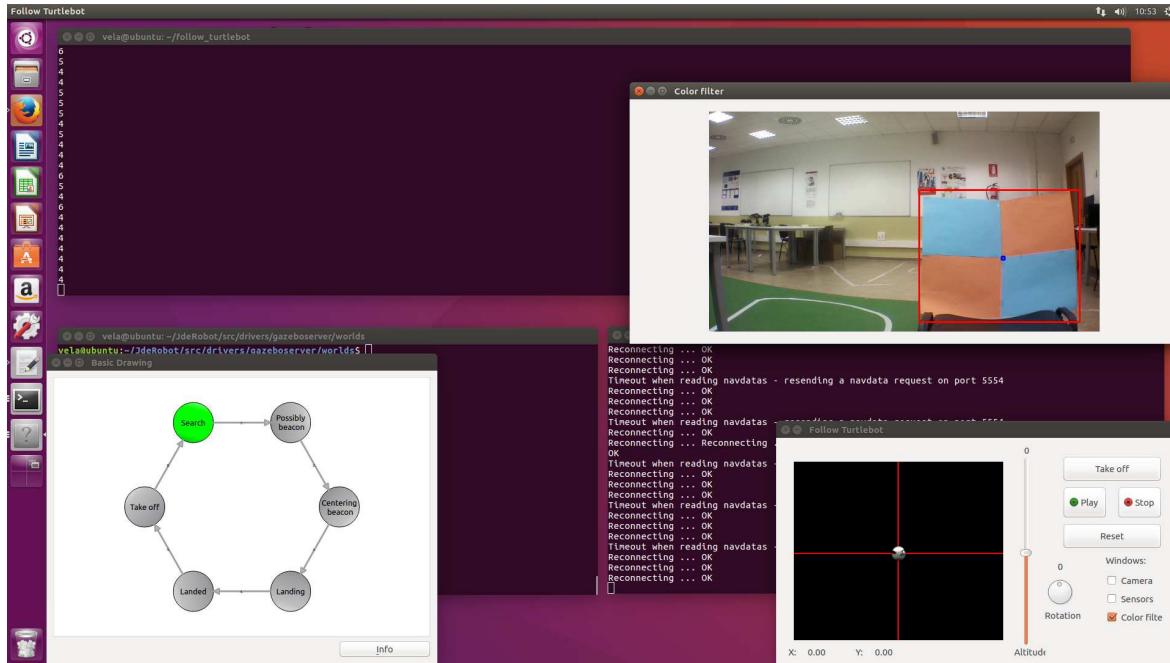


Figure 3.1: Esta imagen muestra el conjunto de herramientas utilizadas.

3.4 OpenCV

Es importante destacar que para la realización del algoritmo, el lenguaje que se ha utilizado ha sido Python. Pero es importante destacar que para el procesamiento de imágenes nos hemos apoyado principalmente en la librería OpenCV. Gracias a ésta, al obtener la imagen que nos transmitía el drone podíamos tanto detectar objetos como aplicar cambios sobre ella, para marcar las zonas de interés o diferentes objetos. Esta librería nos ha permitido la realización de filtros de color, para eliminar objetos no deseados dependiendo el momento. Además permite el uso de operadores morfológicos (erosión y dilatación) gracias a los cuales se evitaban imperfecciones en las imágenes

CAPÍTULO 3. INFRAESTRUCTURA

como podía ser el ruido, que clasificaba objetos inexistentes o de no interés como objetos de interés, así como zonas importantes las detectaba como píxeles de fondo. También han sido de gran utilidad funciones como *drawContours* ó *findContours*, las cuales permitían encontrar los bordes de los objetos e indicar sobre una imagen final, con otro color, donde se encontraban dichos objetos.

Chapter 4

Algoritmo

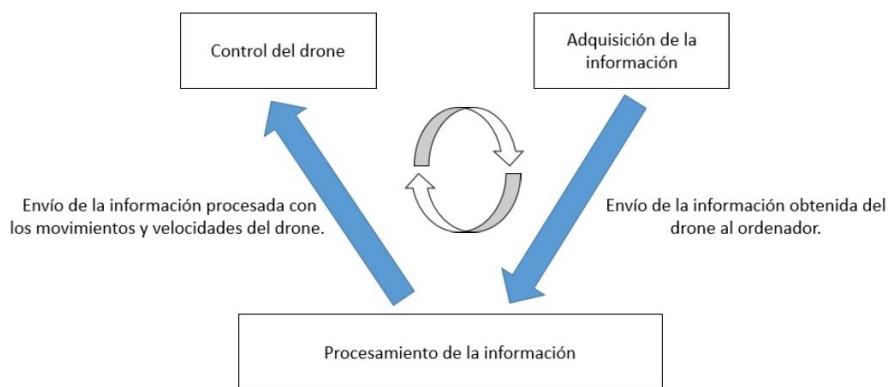
A lo largo de este capítulo voy a contar las distintas fases por las que se ha pasado hasta llegar al algoritmo final. Se va a poder ver como se han producido diversos cambios a lo largo del proyecto. Esto se debe a que debido a las pruebas que se iban realizando, veíamos los fallos e imperfecciones y tratábamos de arreglarlos. Además, según el punto en el que nos encontraramos nos interésaba mas fijarnos en unos u otros detalles, por lo que no solo había cambios en la base del algoritmo principal sino también en el GUI(Interfaz Gráfica de Usuario). Para la explicación de esto, se abordará el tema por partes. En primer lugar se hará una explicación del diseño del algoritmo. Tras esto se explicaran las partes principales que tiene el procesado de la información(percepción, control, estados) para finalmente terminar explicando como sería una realización completa del conjunto.

4.1 Diseño

El diseño de este algoritmo se trata de un ciclo continuo. Se trata de un proceso basado en adquisición-procesado-envío de datos.La parte de adquisición se realizará gracias a los sensores del drone, los cuales obtendrán cierta información.

CAPÍTULO 4. ALGORITMO

Esta información será transmitida al dispositivo que la procese, y una vez hecho esto el dispositivo enviara instrucciones al drone, que serán las que indiquen la velocidad,dirección y sentido en el que este se tiene que desplazar. Tenemos los sensores del drone, de los cuales la cámara es el mas importante para este trabajo. Lo primero que hace el algoritmo, siendo esto la parte de adquisición, es obtener la imagen. Dependiendo del punto del algoritmo en el que se encuentre, querrá obtener una u otra información de la imagen,pudiendo clasificar esta parte como procesado de la información, para lo que siempre utiliza un filtro de color. Pongámonos en el caso de que el drone esta buscando una baliza en la que aterrizar(cuadrado que consta de dos colores), filtrara estos dos colores en la imagen obteniendo así los objetos de interés. En caso de ver que hay un objeto que posiblemente sea la baliza, se eliminaran los objetos que sean menores a un determinado área, para así evitar posible ruido que se haya introducido en la imagen u objetos que sabemos que no son los que buscamos. Tras esto el algoritmo realizara las operaciones que serán explicadas mas adelante para asegurarse de que se trata de una baliza.Llegando en este punto al envío de datos. En caso de tratarse de una baliza, el algoritmo enviara las instrucciones correspondientes, indicándole los movimientos a realizar comportarse frente a esta. En caso contrario, el algoritmo enviara las instrucciones para que continúe con la búsqueda. A continuación se muestra un esquema con el diseño del algoritmo.



4.2 Percepción

En este apartado se tratará sobre el procesamiento de la imagen obtenida. Este puede ser el punto mas importante de todos, pues es gracias al cual el drone sabe en que punto del algoritmo se encuentra y que información enviar. Las primeras pruebas no eran muy complejas, obteníamos una imagen RGB que era la que se transmitía, la convertíamos a HSV para que fuera mas fácil su interpretación, debido a que no tenemos tres colores a los que tratar sino tres parametros(Matiz, saturación y valor). Lo que se conseguía con esto era que un color no dependiera tanto de las condiciones del medio, pues variando poco los valores H y S no hay una gran modificación en el tono, y por lo tanto la intensidad de la luz influirá de menor manera. Tras esto se realiza un filtro de color, eligiendo los valores de H,S y V entre 0 y 255, quedandonos solo con los objetos que nos interesaban. Una vez estábamos en este punto, si se trataba de una imagen perfecta, como pueden ser algunas de simulador no había problemas, pero en caso contrario, debido a factores como luces, sombras y reflejos, un color podía tratarse de distinta forma según el momento o que pasaran el filtro puntos de la imagen que no eran de las características deseadas. Por ello, era necesario el uso de operadores morfológicos, los cuales explico brevemente para que así se entienda su uso:

- **Erosión:** Dada una imagen y un elemento estructural, la erosión es el conjunto de los elementos x para los cuales el elemento estructural trasladado por x está contenido en la imagen.

Aplicación: Cuando un píxel que parece pasar el filtro, pero los elementos de su alrededor(en concordancia con el elemento estructurante) no lo pasan, este pasa a ser parte del fondo.

- **Dilatación:** Transformación dual a la erosión. El resultado de esta es el conjunto de elementos tal que al menos algún elemento del conjunto estructurante esta contenido en x , cuando el elemento estructurante se desplaza sobre x

CAPÍTULO 4. ALGORITMO

Aplicación: píxeles que parecen de fondo, pasan a ser de la figura si estan cerca de píxeles que pasan el filtro.

- **Cierre:** Se trata de realizar una dilatación en la imagen seguida de una erosión.
- **Apertura:** Se trata de realizar la erosión en una imagen seguido de la dilatación.

Pues bien, gracias a esto se puede hacer un pre-procesado de la imagen(técnica mediante la cual se mejoran y realzan las características de esta para así facilitar las posteriores operaciones a realizar) y así obtener una mejor imagen con la que trabajar. Hay que destacar que las mas utilizadas durante la realización de este trabajo han sido la erosión y la apertura. Pues con la erosión evitábamos que se colaran píxeles de fondo como parte del objeto, por lo que obteníamos solo la parte requerida, y por otro lado con la dilatación realizada en la apertura, tras eliminar el ruido de fondo, si en algún objeto se quedaba un píxel en negro conseguíamos que este pasara a formar parte de la figura, por lo que con estos métodos habíamos conseguido el objetivo: eliminar el ruido de fondo y obtener el objeto de forma mas compacta. En la siguiente imagen podemos observar un ejemplo de esto:

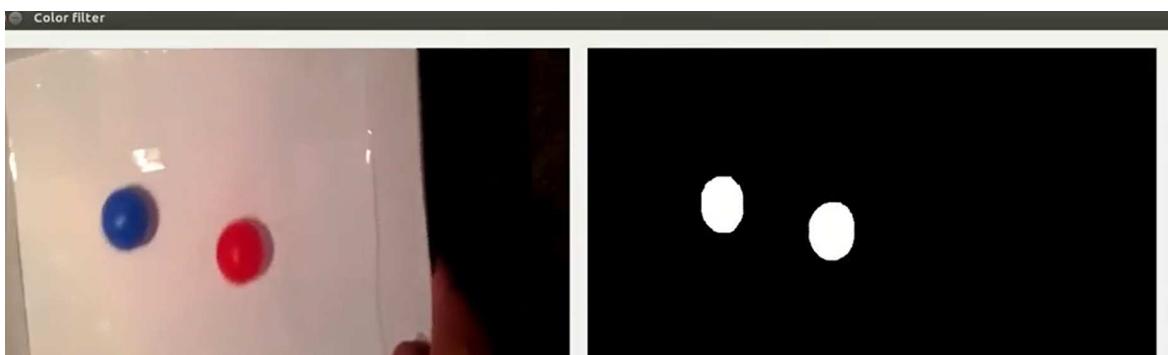


Figure 4.1: Esta imagen muestra un primer filtro de color.

A continuación pongo como ejemplo una parte de código, el cual coge una imagen, la convierte a HSV, crea un filtro de color y pasa la imagen a través de este, obteniendo una imagen resultante:

CAPÍTULO 4. ALGORITMO

```
hsv = cv2.cvtColor(input_image, cv2.COLOR_BGR2HSV)
lower_orange = np.array([100,100,80], dtype=np.uint8)
upper_orange = np.array([150, 255,255], dtype=np.uint8)
maskOrange = cv2.inRange(hsv, lower_orange, upper_orange)
maskRGBOrange = cv2.bitwise_and(input_image,input_image, mask= maskOrange)
```

Destacar que con la última linea de este código, conseguiríamos que la imagen resultante no quedara en blanco y negro, sino que los objetos que pasan el filtro se mostraran en su color original.

Con esto se obtuvo una primera buena señal, y era que sobre imágenes reales (con imperfecciones) conseguíamos realizar los filtros que queríamos, por lo que el siguiente paso fue decidir la forma que tendría la baliza y comenzar a trabajar en ella y sus características. Esta baliza constaría de un cuadrado formado por 4 cuadrados de dos colores:

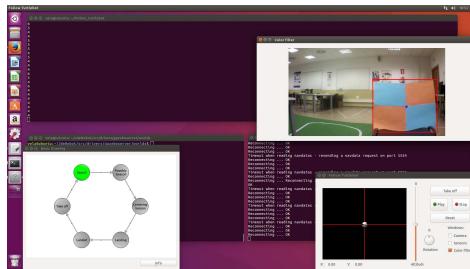


Figure 4.2: Esta imagen muestra el conjunto de herramientas utilizadas.

Con la imagen de simulador, lo que tuvimos que hacer fue cambiar los valores al filtro de color anterior, con lo que ya conseguíamos obtener los colores de la baliza, pero sobre la baliza real se estuvo más tiempo trabajando, pues al trabajar con ella en distintos entornos había muchos cambios de luminosidad, y aunque HSV minimizara este problema, según el entorno de trabajo seguía dando problemas. Al final ampliando el rango de colores, un mejor pre-procesado de esta imagen y el procesado para el algoritmo, se consiguió que esto no fuera un problema.

CAPÍTULO 4. ALGORITMO

Pero en realidad en este punto solo teníamos el primer paso, que la baliza pasara el filtro de color, ahora teníamos que conseguir que nuestro algoritmo detectara eso como una baliza para poder posicionarse sobre ella. Para este punto, se ha pasado por distintos puntos y algoritmos, los cuales se han ido mejorando o cambiando según los fallos que se veían, hasta llegar a un algoritmo final.

Lo primero que hicimos fue sobre el simulador. Se obtenía la posición de los píxeles donde se encontraba el objeto que pasaba el filtro, y a partir de esto se calculaba su píxel central. Esto se hacia gracias a una función de OpenCV que retornaba el área que no se consideraba fondo, y luego de este área calculaba su centro. Un ejemplo del código python que realiza esto, a partir del código anterior, es el siguiente:

```
momentsOrange = cv2.moments(maskOrange)
x_center = int(momentsTot['m10']/momentsTot['m00'])
y_center = int(momentsTot['m01']/momentsTot['m00'])
```

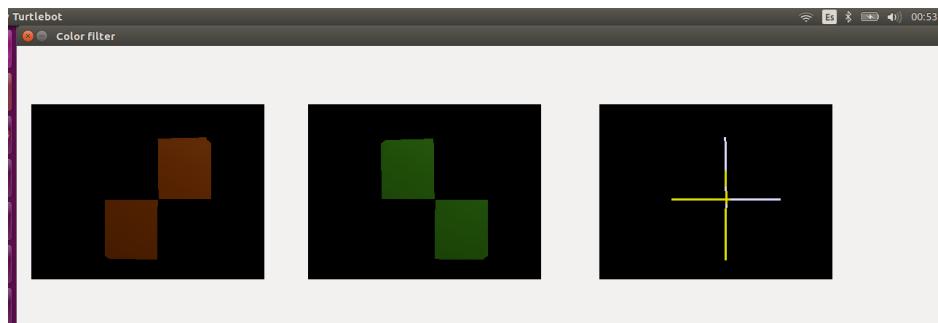
Una vez hemos obtenido el centro del objeto, hay que calcular el centro de la imagen. En este caso, para calcularlo, hemos hecho es que la primera vez que se ejecute nuestro algoritmo(teniendo en cuenta que éste está en una continua ejecución) llame a una función a la que se le pasa la imagen de entrada, obtiene su tamaño y calcule a partir de este cual es el centro de la imagen. La razón de hacer esto es que tanto el drone real como el del simulador tienen dos cámaras, que obtienen distintas imágenes con distintos tamaños, de esta forma se calcula el tamaño la imagen que se va a utilizar de manera automática antes de comenzar cualquier proceso. Pues bien, para hacer las pruebas iniciales, teniendo el centro de la imagen y el centro del punto al que queremos llegar, basta con hacer la resta de estos y multiplicarlos por un valor(en función de las velocidades del drone) para que este se mueva, centrando su centro y el del objeto.

Tras conseguir, con un filtro y unas funciones, que el drone pudiera situarse sobre un objeto filtrado, pasamos a mejorar la detección de la baliza. La idea principal

CAPÍTULO 4. ALGORITMO

de la detección es detectar donde esta la cruz que forman los 4 cuadrados de colores, o lo que es lo mismo, detectar la intersección de los cuadrados de la baliza, así obtendremos el punto sobre el cual situarnos para podernos centrar.

Un primer algoritmo fue realizar los dos filtros de color, uno por cada color de la baliza, obteniendo así por separado los colores verde y naranja cuando trabajábamos en el simulador. Una vez obteníamos las imágenes por separado realizamos una dilatación de ambas imágenes y luego una suma, lo que nos daba como resultado otra vez la baliza inicial pero con las intersecciones de otro color, de forma que filtrando por este nuevo color obtenido obteníamos la cruceta de la baliza. En este punto en el *color filter* de la herramienta veíamos los dos filtros por separado y la intersección de ambos:



En este punto, cuando el drone detectaba un objeto en la figura de la izquierda, lo trataba como baliza, por tener los dos colores principales juntos, pero aun quedaba mucho camino por recorrer, pues no detectábamos el centro de la intersección. Por otro lado, fue en este punto donde decidimos que las ventanas que mostraba el *color filter* ya no era tan necesaria, pues habíamos obtenido lo que queríamos, y se decidió trabajar hacia una ventana que mostrara la imagen completa de lo que estaba viendo el drone y marcara de algúna forma el contorno y cruceta de dicha baliza. Para esto fueron muy útiles las funciones *findContours* y *drawcontours* de OpenCV, las cuales nos permitían encontrar los bordes de los objetos de las imágenes y marcar estos. Lo que hacíamos en este proceso era obtener los bordes de las imágenes que habían pasado

CAPÍTULO 4. ALGORITMO

el filtro y despues pintar sobre la imagen original.Para poder utilizar esta función necesitábamos pasar la imagen a escala de grises, como podemos ver a continuación:

```
imggray1 = cv2.cvtColor(maskRGBOrange, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
ret, thresh = cv2.threshold(imggray1, 255, 255, 255)
_, contours, hierarchy = cv2.findContours(thresh, cv2.RETR_TREE, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
cv2.drawContours(input_image, contours, -1, (0,255,0), 5)
```

Conseguido esto, para el simulador teníamos un algoritmo principal que hacía lo que buscábamos en situaciones ideales, pero seguía teniendo varios fallos. El primero a arreglar era que si en lugar de 4 cuadrados la baliza solo tenia dos, al dilatar y filtrar obtendríamos de igual forma otra figura, aunque en lugar de una cruceta se tratara de una linea. La forma de enfrentarse a esto fue contando el numero de objetos que había en la imagen. Si la imagen tenía dos objetos de cada color y un objeto que fuera la intersección de los otros, se trataría de una baliza, en caso de no ser de esta forma no se trataría como tal. En la parte de visión estuvimos mucho tiempo trabajando con este algoritmo, pues para el simulador funciónaba bien. Pero en este punto, en la parte de visión, detección de colores y realización del filtro, comenzamos a trabajar con el drone real, haciendo tareas muy simples, por lo que mejorar la robustez de esto se quedo un poco de lado.

Para comenzar a probar el filtro de colores en el drone real se hizo una baliza como la que teníamos en el simulador, pero al ir a realizar las primeras pruebas estaba el problema de que en la realidad había muchos colores parecidos en las distintas direcciones, por lo tanto el drone confundía muy fácil los colores. Para arreglar esto se empezó trabajando sobre un color y mejorando el algoritmo, de tal manera que el rango de colores fuera mas reducido, y aunque esto era un problema porque al trabajar con la luz real, un mismo color variaba mucho su rango según la situación que estuviera, trabajando en HSV se consiguió, y tras esto en el pre-procesado se realizó una erosión con mas iteraciones de forma que eliminaba mejor los píxeles de fondo, pues en estas

CAPÍTULO 4. ALGORITMO

pruebas el problema era que uno de los colores de fondo era muy parecido al color de la cartulina. También añadimos que el drone solo hiciera caso a los objetos con un área mayor a determinado valor, con lo que conseguíamos que si algún objeto de fondo seguía pasando el filtro lo obviara.

Despues de esto ya quedaba la ultima parte por parte del filtro de colores aunque la mas dificil: *conseguir situar una baliza en condiciones reales*. La primera complicación de esto es el detectar dos colores muy distintos, el problema de esto era que en cualquier entorno que estuvieramos era muy probable tener de fondo un color muy parecido a cualquiera de los dos, pero como anteriormente, fue reforzar el filtro y pre-procesado para conseguir esto. Una vez conseguimos las pruebas eran sencillas: hacer despegar al drone y poner la baliza delante. Una vez que movieramos la baliza el drone debía moverse en el mismo sentido, prueba que, aunque costosa, se realizo con éxito. Destacar que también en este momento la imagen que mostraba *color filter* se volvió a modificar, pues se mostraba la imagen real y sobre ella se pintaba, si era posible baliza, los bordes y la cruceta en verde. En el momento que se trataba de la baliza real, los bordes se pintaban en rojo (valor RGB 255,0,0) y la cruceta en verde (valor RGB 0,255,0). De esta forma era muy fácil saber, con solo visualizar la imagen, en que punto se encontraba el algoritmo y si actuaba correctamente.

Ya con un algoritmo de detección con el que se podía trabajar correctamente, todavía le faltaba algo de robustez, pues si situábamos un objeto del mismo color que alguno de los colres de la baliza lo detectaba como un objeto mas, lo que llevaba a que el numero de objetos de un color fuera mayor, y daba problemas como el que el número de objetos de un color fuera mayor, el área era mayor que el deseado y en caso de calcular el centro del área no lo situaba donde debía. Por lo tanto, se llego a una solución que, aunque tardaba mas en procesar la imagen, es mas robusta. El proceso es el siguiente:

1. Como anteriormente, pasar los filtros de color y obtener solo los objetos de los

CAPÍTULO 4. ALGORITMO

colores deseados, pasando el resto a ser píxeles de fondo. De Aquí obtenemos dos imágenes, una por color.

2. De cada imagen, obtenemos el número de objetos, sus áreas y sus contornos. Vamos recorriendo los objetos de las imágenes, en caso de tener un área mayor a un valor determinado, se crea una imagen negra del mismo tamaño que la imagen de entrada, y se pinta sobre esta el contorno del objeto con un valor determinado, ponamos como ejemplo que cada contorno tiene un valor RGB (0,1,0). De forma que, si por ejemplo, el numero de objetos tras pasar los dos filtros era 5, obtendremos 5 imágenes.
3. Por cada imagen obtenida, dilatamos lo obtenido(por lo que el borde se ensanchara) y lo sumamos a una imagen final, de forma que en cada imagen, donde se sitúe el contorno se sumara a cada píxel un valor RGB(0,1,0). De forma que el punto que sea la intersección de dos objetos, el valor sera(0,2,0) y donde sea la intersección de 4 objetos el valor sera (0,4,0). El punto donde interseccionen 4 objetos será la cruceta (ejemplo de la suma de imágenes en figura 4).
4. Una vez tenemos esta imagen final, le podemos aplicar un filtro RGB que permita pasar los píxeles con valor (0,4,0), de forma que de la cruceta solo obtendremos el punto donde interseccionan los 4 cuadrados.
5. Ya con la imagen que solo muestra los píxeles de intersección, podemos utilizar la función drawcontours, que a parte de permitirnos marcar el centro sobre la imagen original, nos retorna el valor de los píxeles que pinta, de donde obteniendo su centro, podemos obtener con exactitud los valores X e Y donde se situa la cruceta.
6. Para finalizar este proceso, se realizo de nuevo un cambio en *color filter*, en el cual con la función rectangle de OpenCV marcamos la cruceta de la baliza(como

CAPÍTULO 4. ALGORITMO

se puede ver en la figura dos de la página 17) y con un cuadrado rojo los objetos que son posibles balizas, marcando de esta forma la baliza real.

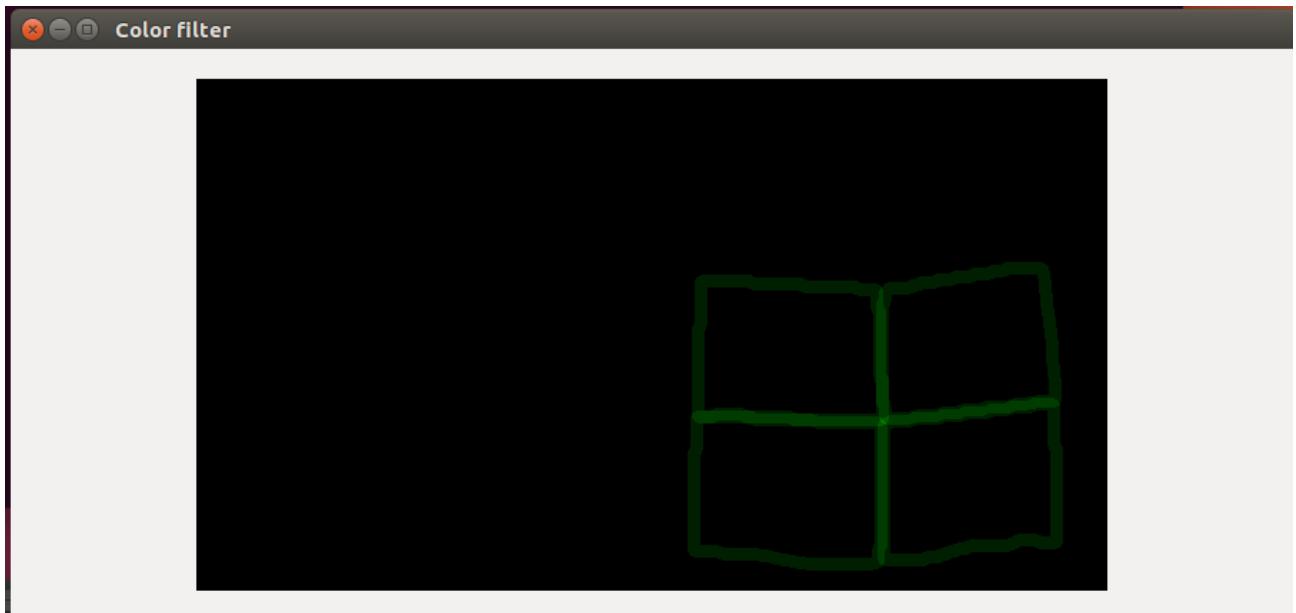


Figure 4.3: Imagen que muestra la suma de las diferentes imágenes creadas por cada objeto.

A continuación inserto un fragmento de código, el cual a partir de una imagen que ha pasado un filtro, pinta los contornos de cada objeto, cada uno sobre una nueva imagen negra, y las guarda en un array. Tras esto dilata y suma las imágenes obteniendo la imagen final.

```
f = []
i=0
imggray2 = cv2.cvtColor(maskRGBOrange, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
ret,thresh = cv2.threshold(imggray2,255,255,255)
_,contours, hierarchy = cv2.findContours(thresh, cv2.RETR_TREE, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
```

CAPÍTULO 4. ALGORITMO

```
\'areas = [cv2.contour\'area(c) for c in contours]
for extension in \'areas:
    if extension > 100:
        img = np.zeros((y_img*2,x_img*2,3), np.uint8)
        actual = contours[i]
        approx = cv2.approxPolyDP(actual,0.05*cv2.arcLength(actual,True),True)
        cv2.drawContours(img,[actual],0,(0,30,0),12)
        f.append(img)
        i=i+1

kernel = np.ones((3,3),np.uint8)
if(len(f)>0):
    f[0] = cv2.dilate(f[0],kernel,iterations = 4)
    show_image2=f[0]
    for k in range(len(f)-1):
        f[k+1] = cv2.dilate(f[k+1],kernel,iterations = 4)
        show_image2=show_image2+f[k+1]
```

Por otro lado, voy a mostrar un fragmento de código en el cual, a partir de la imagen que muestra el borde de la baliza, la cruceta y el centro en determinados valores, obtengo los píxeles sobre los que se centra la cruceta. La razón de que se inicien a un valor negativo es para que al retornar estos valores cuando se llama a la función, el algoritmo sepa que no se ha detectado la intersección entre los cuatro cuadrados de la baliza.

```
lower_green = np.array([0,80,0], dtype=np.uint8)
upper_green = np.array([0, 255,0], dtype=np.uint8)
maskSHI = cv2.inRange(show_image2, lower_green, upper_green)
```

CAPÍTULO 4. ALGORITMO

```
show_image2 = cv2.bitwise_and(show_image2,show_image2, mask= maskSHI)

compare_image = np.zeros((y_img*2,x_img*2,3), np.uint8)
diff_total = cv2.absdiff(compare_image, show_image2)

imagen_gris = cv2.cvtColor(diff_total, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
_,contours,_ = cv2.findContours(imagen_gris, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

positionX=-1
positionY=-1
for c in contours:
    if(cv2.contourArea(c) >= 0):
        posicion_x,posicion_y,ancho,alto = cv2.boundingRect(c)
        cv2.rectangle(show_image,(posicion_x,posicion_y),(posicion_x+ancho,posicion_y+alto),(0,0,255),2)
        positionX= (posicion_x+posicion_x+ancho)/2
        positionY= (posicion_y+posicion_y+alto)/2
```

4.3 Control

Una vez terminado el filtro de color, hablemos del algoritmo de movimiento del drone. Las primeras pruebas sobre simulador se realizaban de forma simple: El drone despegaba, y mientras no detectara baliza sobre la que centrarse, subía dando vueltas sobre si mismo, en el momento que encontraba la baliza obtenía el centro de esta e intentaba que coincidiera con el centro de la imagen. Tras esto se probó que la baliza se desplazara y que el drone fuera capaz de seguirla. Prueba que también funcionó sin problemas. Al depender la velocidad de la resta de los centros, provocaba que al estar mas lejos la velocidad de movimiento fuera mayor y fuera disminuyendo conforme se

CAPÍTULO 4. ALGORITMO

centraba, evitando de esta forma que el drone frenara de forma brusca y disminuir los balanceos y turbulencias. Aun así, se detectaban ciertas imperfecciones debido a que se trataba de un controlador proporcional, el cual funcionaba bien pero no lo suficiente, por lo que se decidió añadir una componente derivativa, con el objetivo de mantener el error al mínimo, evitando que este se incremente y por lo tanto el drone sufra cada vez mas oscilaciones al situarse sobre un punto. Este control se basa en derivar el error con respecto al tiempo y multiplicarlo por una constante. Dado que nuestro algoritmo ejecuta una vez cada cierto tiempo y no esta continuamente pasando por este punto, podemos considerar que se trata de un sistema en tiempo discreto, y por tanto en lugar de trabajar con derivadas trabajaremos con sumatorios. De esta forma, para añadir un control derivativo realizábamos una operación que depende de la velocidad anterior y la que tenemos ahora:

$$v_{derivativa} = 1 - (v_{anterior} - v_{nueva})/50$$

En nuestro algoritmo, en caso de que la operación de un valor menor a 0.1 lo igualamos a este, con lo que conseguimos que nunca sea un valor muy cercano a 0 y por lo tanto no se quede en el sitio. Este resultado lo multiplicamos a la velocidad final, y lo que conseguimos es que si el valor entre dos velocidades continuas es muy alto este se atenúa de forma que el drone no cambie mucho y vaya oscilando, sino que lleve una velocidad mas continua, de cara a acelerar o frenar su velocidad.

Por otro lado, el drone tiene un algoritmo de búsqueda, en el que se pretende que se mueva realizando una espiral continua, haciendo así que recorra toda la zona de su alrededor. Para ello se le envía la información de dos velocidades que fueran variando con el paso de las iteraciones, una que dependía de la rotación sobre si mismo, y otra velocidad que se le pasaba para que hiciera en su eje X hacia delante. De esta forma, con el paso de las iteraciones disminuía la velocidad de rotación, al mismo tiempo que aumentaba la velocidad hacia delante, con lo que conseguíamos un algoritmo de búsqueda en espiral, pudiendo recorrer de esta forma un determinado área con facilidad.

CAPÍTULO 4. ALGORITMO

Un ejemplo de esto lo podemos ver en el siguiente fragmento de código.

```
self.cmdvel.sendCMDVel(1.8+wSearch,0,0,0,0,1.5 - wSearch)
numVuelta=numVuelta+1
if(numVuelta==100):
    timerW=timerW+(timerW/8)
    numVuelta=0
    if(wSearch<1):
        wSearch=wSearch+0.2
```

Para poder añadirlo lo único que se tuvo que hacer es añadir dos paquetes del GUI de JdeRobot, uno que permitía abrir otra ventana y otro que permitía añadir estados y transiciones entre ellos. Para marcarlo, siendo el numero que aparece el numero del estado que queremos marcar, valía con la siguiente linea de código:

```
self.machine.setStateActive(2, True)
```

Visualmente, durante la ejecución obteníamos esto:

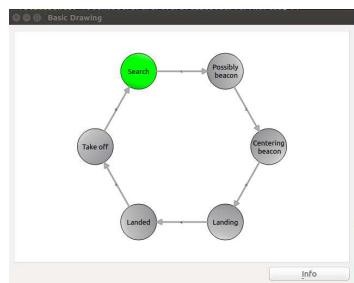


Figure 4.4: Imagen que muestra el diagrama de estados.

4.4 Funcionamiento del algoritmo

En realidad, todo lo contado del algoritmo sirve para satisfacer estas tres partes.

El despegue del drone. Para estas pruebas se ha estimado que el despegue será un periodo de 10 segundos para que este pueda estabilizarse sobre la baliza. Aunque es la parte mas sencilla, en un principio pensamos que todo ocurriría en perfecta forma, sin embargo al comenzar a trabajar con el Ardrone nos dimos cuenta de que bien por las corrientes internas que se forma en espacios cerrados, o por la inestabilidad de este simplemente por el paso del tiempo y que su estructura ya no esta en como en un inicio, una vez en el aire no mantenía la posición, sino que se desplazaba cuando se le enviaban instrucciones de quedarse en el sitio(en mi caso,con el drone que trabajaba una vez se levantaba comenzaba a ir hacia atrás). Debido a esto, decidimos que el despegue se controlara también mediante visión. Lo que pretendíamos con esto es que una vez el drone estuviera en el aire, detectara una baliza de color naranja, calculara su centro e intentara situarse sobre este, asegurandonos así realmente que el drone permanecía en el sitio. Trabajando en ésta idea nos dimos cuenta que el drone tenía un par de segundos en el despegue en los que trabajaba de forma automática y no es capaz de realizar las acciones que se le están enviando, lo que lleva a estar los dos segundos iniciales sin control sobre este. Durante este periodo se marca el estado ””Take off”” en el diagrama de estados.

Una vez tenemos el drone en el aire llegamos a la parte mas compleja, **la búsqueda** de la baliza. En este momento se marca el estado ””Search”” en el diagrama de estados, y el drone comienza a moverse en forma de espiral mientras busca algún objeto que tenga los colores de la baliza. En el momento que encuentra uno de los dos colores marca el estado ””Possibly beacon”” e intenta centrarse sobre el objeto, esperando que se trate de una baliza. En caso de no tratarse de la baliza, el drone se aparta de esta y continua con su algoritmo de búsqueda, pero en caso de serlo marca sobre el diagrama de estados ””Centering beacon”” haciendo que coincidan sus

CAPÍTULO 4. ALGORITMO

centros. Aquí ya no se fija en el área del objeto como en el caso anterior, para centrarse sobre el centro de este, sino que al haber obtenido ya donde está la cruceta, tiene sus valores desde un principio, por lo que es sobre estas coordenadas sobre las que tiene que situarse. Destacar que pueden darse factores externos por los cuales el drone pierda parte de la baliza y no la detecte como tal, pero si sigue detectando objetos, en este caso tratará a tales objetos como la baliza e intentará situarse de nuevo sobre ellos durante un periodo de tiempo. En caso de tratarse de algún otro factor y que ya no exista baliza en este punto continuara buscando. Una vez el centro de la imagen y la cruceta están a una distancia menor de un determinado número de píxeles, aparte de centrarse comienza su descenso, hasta que la baliza en la imagen tiene un determinado área en el que se considera que ya está suficientemente cerca y deja de descender.

Es en este momento cuando comienza la parte del **aterrizaje**, esto se debe a que el aterrizaje en si también es un proceso que se realiza un poco a ciegas, pues en el momento que envías la instrucción de ””land”” al drone este comienza a descender hasta que llega al suelo y para sus motores. Este momento se produce cuando el drone esta prácticamente centrado sobre la baliza y a una distancia cercana, que nos podamos asegurar que en el periodo de aterrizaje no se va cruzar ningún obstáculo ni se van a producir accidentes. Se marca en el diagrama de estados ””Landing”” y el drone comienza a descender en vertical hasta encontrar el sitio donde posarse. Una vez aterrizado para sus motores y se marca el estado ””Landed””, habiendo finalizado de esta forma el algoritmo.

Chapter 5

Experimentos

En este capítulo se van a comentar las distintas pruebas realizadas tanto con el drone real como en la simulación, las cuales validan cada fase del proyecto y la solución final. También estas pruebas han servido para depurar mientras se desarrollaba.

Antes de comenzar, comentar diferencias importantes que hay entre trabajar en el entorno simulado y en el real. Primero, en el entorno simulado los colores puros ideales y mas fáciles de detectar, sin embargo en el entorno real debido a luces y sombras un color puede verse mas o menos nítido, además de ser mas difícil aislarlo del resto. También las velocidades a aplicar sobre uno y otro son distintas, pues en el entorno simulado se le puede dar una mayor velocidad que trabajara sin problemas, sin embargo en el real una velocidad alta y un movimiento brusco puede llevar a desestabilizarlo.

Por otra parte, en el drone real se daba el factor de la batería, en función de la carga que tuviera esta aterriza con mas o menos fuerza y realizaba movimientos mas o menos fluidos. A partir del 30% de batería no permitía al drone realizar todos los movimientos, y en algunas ocasiones perdía altura, aunque despues volvía a ganarla.

Para organizar las distintas pruebas, se va a hablar sobre la parte de percepción. Tras esto se comentara por separado cada una de las partes del algoritmo (despegue, búsqueda y aterrizaje), para terminar con una ejecución típica del algoritmo

completo.

5.1 Percepción

Para las pruebas de esta sección, hay que tener en cuenta el objeto a detectar. Como ya se ha dicho anteriormente, este trata de un cuadrado con cuatro cuadrados dentro, dos de color naranja, y otros dos de color azul (trabajando con el drone real) o verde(si se trabajaba en un entorno simulado).

Los primeros test se realizaban en el entorno simulado, al principio detectando ambos colores y viendo que se trataba de 4 objetos distintos. Después se comenzaron los test con el algoritmo final, viendo que los cuatro cuadrados formaban una cruceta y detectaba esta en la imagen, para así poder centrarse. Dependiendo de los distintos estados del algoritmo, cuando veía una parte de la baliza la detectaba y marcaba como posible objeto, en caso de tratarse de la baliza completa la marcaba como tal.

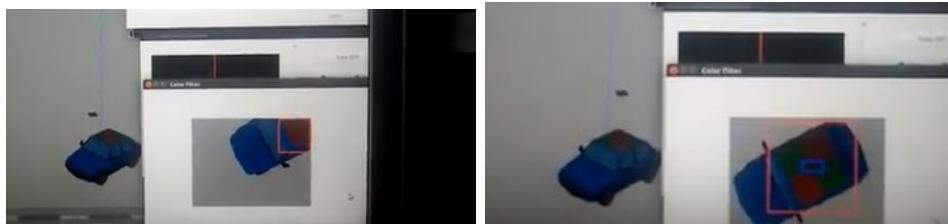


Figure 5.1: Drone detectando objeto.

Una vez se realizaron estos con éxito, pasaron a realizarse las pruebas con el drone real. Las primeras pruebas eran con el drone quieto y situando las balizas en distintas posiciones y viendo que las detectaba. Tras esto con el drone volando se hicieron pruebas, viendo que cuando se situaba la baliza debajo de este era capaz de detectarla.

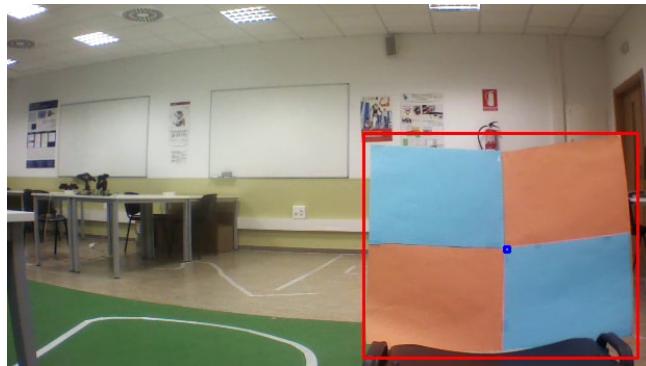
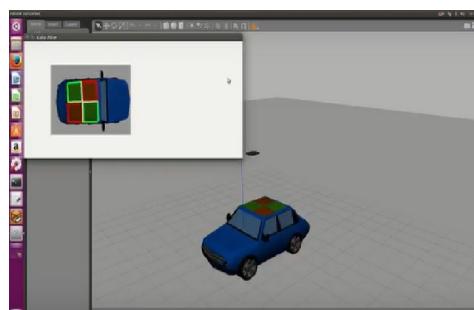


Figure 5.2: Detectando baliza real.

5.2 Despegue

Las primeras pruebas del despegue sobre el simulador fueron las mas sencillas. Esto se debe a que se trata de un entorno ideal en el cual el drone no tiene deriva ni se dan otros factores externos. Las pruebas consistían en despegar el drone y que este se centrara sobre la baliza, aunque también se probó a despegar el drone sobre el coche con la baliza y mover el coche para ver que el drone le iba siguiendo. Esta parte se decidió implementar porque el drone tenía una deriva que le llevaba a desplazarse hacia atrás cuando tenía que estar en el sitio. Cuando se hicieron las primeras pruebas de esto, se vió que el drone siempre despegaba en esta dirección y había un dos segundos en los que no se pueden controlar sus movimientos, por tanto había que contar con este desplazamiento.



CAPÍTULO 5. EXPERIMENTOS

Para la realización de este experimento situábamos la baliza real sobre el suelo y el drone sobre esta, y así al despegar tenía un punto sobre el que centrarse.

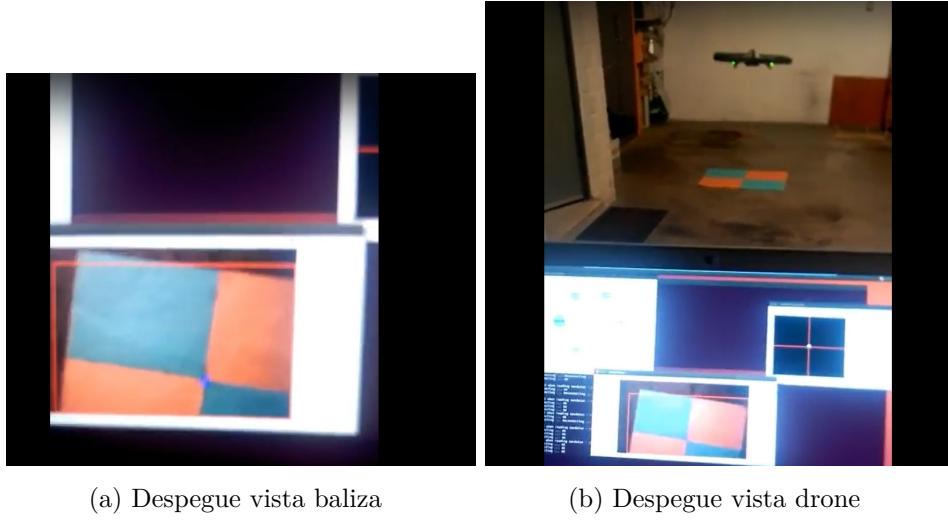


Figure 5.3: Despegue

Para la realización del algoritmo, el periodo de despegue se controla por tiempo, dejando 10 segundos para este. En el siguiente enlace está el video con el despegue real del drone:

https://www.youtube.com/watch?time_continue=26&v=HVGSlbA1tq4

5.3 Búsqueda

Para la realización de ésta parte del algoritmo, como ya he comentado anteriormente, el drone va moviéndose en espiral hasta encontrar la baliza, para ya centrarse sobre esta. Al principio de los experimentos, el drone se situaba cerca de la baliza para empezar su desplazamiento y que al encontrar la baliza se centrara. Una vez esto funcionaba, se probaba a poner el drone más lejos de ésta para que en la primera vuelta de la espiral no encontrara ningún objeto de interés, pero ya en la segunda vuelta pudiera

CAPÍTULO 5. EXPERIMENTOS

verlo y se centrara, comprobando de esta forma que las espirales se realizaban de forma correcta. En los primeros experimentos el control, pues solo tenía componente proporcional y el momento que pasaba de no detectar nada a encontrar una posible baliza los movimientos eran muy bruscos, arreglando esto con el control PID.

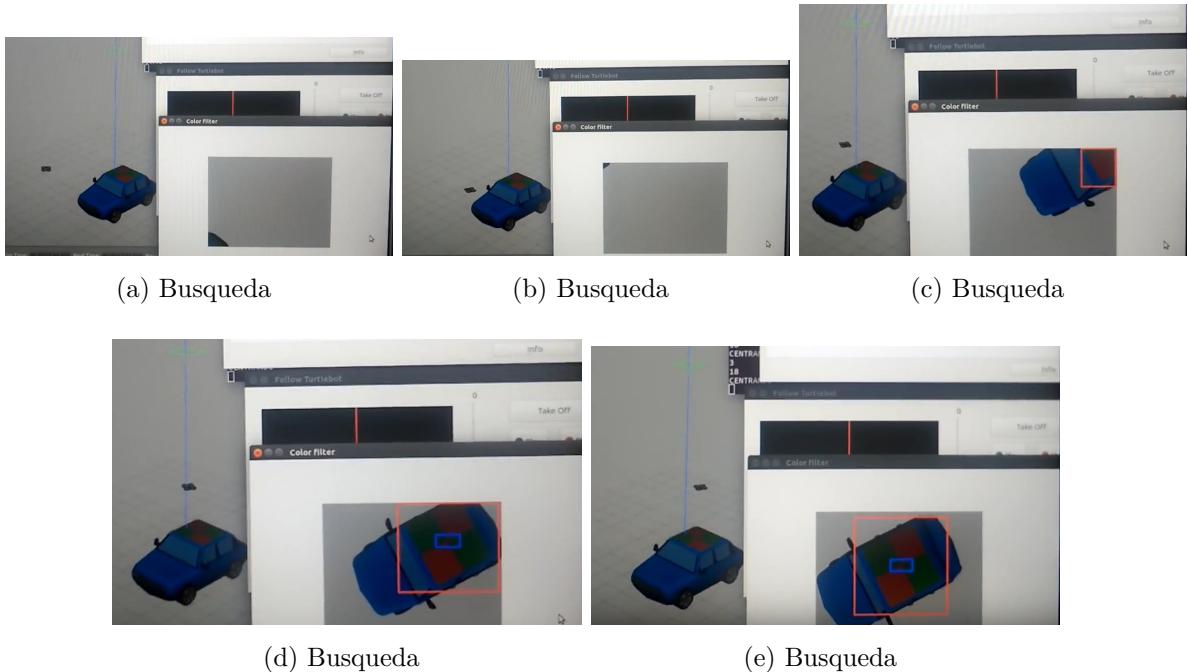


Figure 5.4: Busqueda

Para las pruebas con del drone real, primero se probó solo que el algoritmo de búsqueda era correcto, y que el drone realizaba espirales de forma correcta. Pero después, al realizar las pruebas finales en espacios más pequeños se modificó el algoritmo de búsqueda, haciendo que el drone se moviera haciendo cuadrados para tener un mayor control sobre éste.

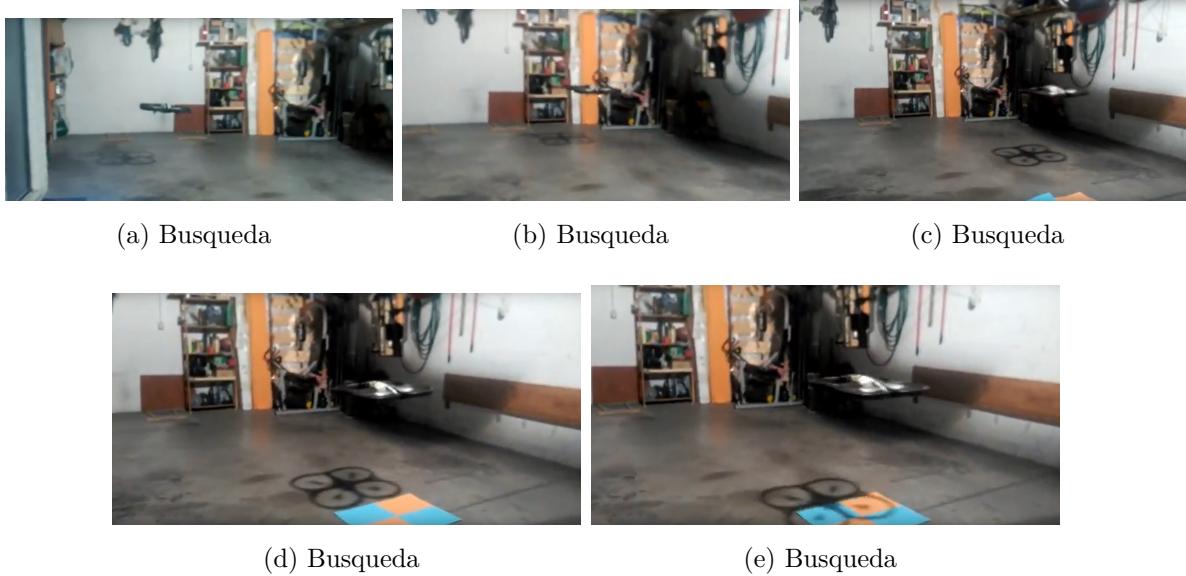


Figure 5.5: Busqueda

5.4 Aterrizaje

En los experimentos de esta parte, lo que se trató fue que el drone se centrara sobre la baliza sin realizar movimientos bruscos, una vez que el drone detectaba que estaba prácticamente centrado sobre la baliza, comenzaba a descender, y una vez detectaba que estaba lo suficientemente cerca enviaba la orden de aterrizar. Como podemos observar, en estos experimentos la parte de percepción se basan en controlar el centro de la baliza y el área, para tener una aproximación de la distancia que había a ésta.

CAPÍTULO 5. EXPERIMENTOS

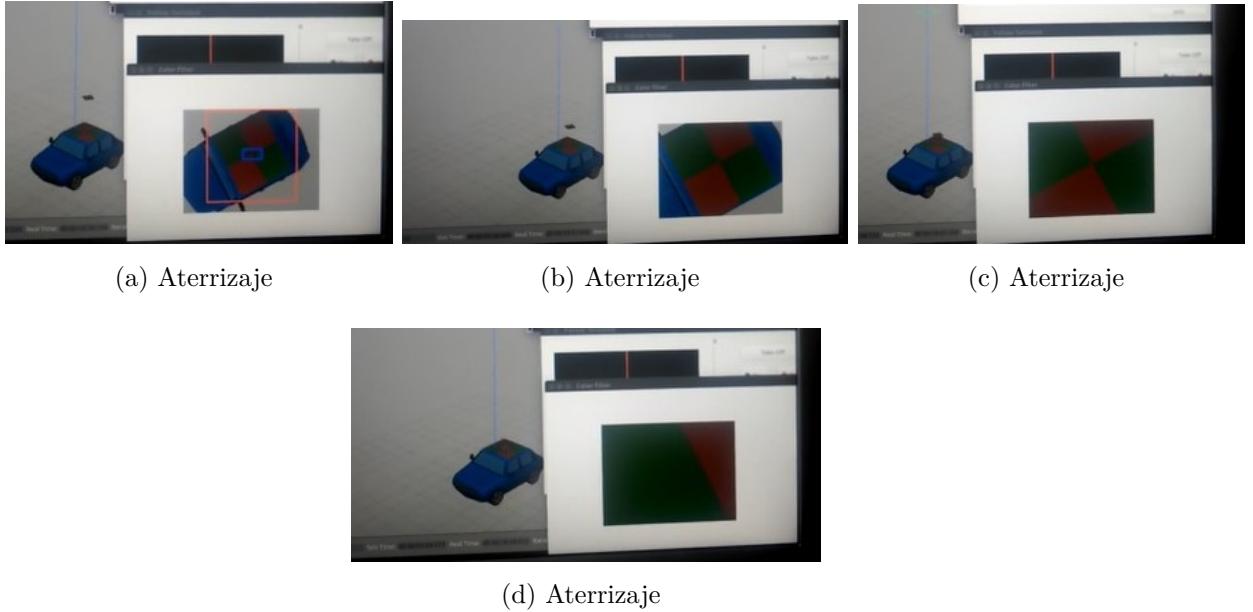


Figure 5.6: Aterrizaje

Para la realización de estas pruebas ha habido varias fases. En la primera, cuando el drone estaba en el aire se ponía delante de el la baliza de un color y al detectarla aterrizaba. Una vez funcione esto, se probó poniendo la baliza bajo el mientras no se le mandaban órdenes de velocidad, y ya para finalizar que mientras realizaba el algoritmo de búsqueda, una vez detectara la baliza aterrizará. Esta prueba los resultados eran buenos, ya que se conseguía que aterrizará, pero por la velocidad que tenía el drone y debido a la inercia, no aterrizaba en el sitio sino que seguía en la misma dirección que tenía anteriormente hasta que se posaba en el suelo y ya se detenía, por lo tanto aterrizaba lejos de la baliza. Pero tras esto y ya añadir los movimientos para centrarse sobre ésta, se solucionó el problema y se consiguió que el drone aterrizará verticalmente sobre la baliza.

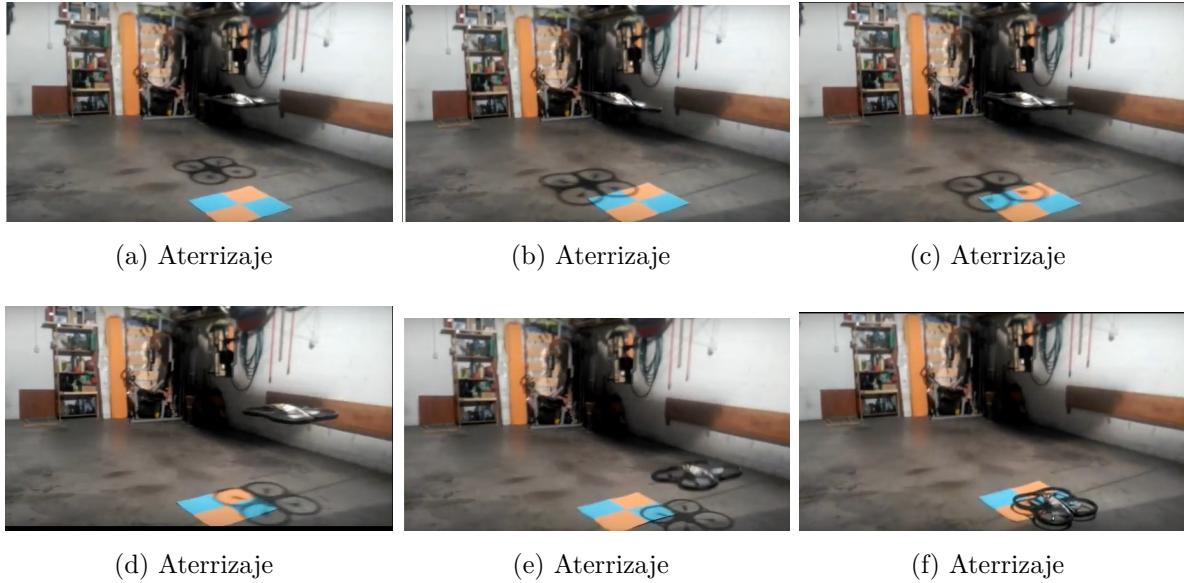


Figure 5.7: Aterrizaje

5.5 Algoritmo completo

Este experimento se realizó para comprobar que todo lo que se había programado por partes funcionaba también si se probaba el algoritmo completo. Cabe destacar que las pruebas salieron correctamente. Sobre el simulador se probó a poner el drone sobre la baliza, que despegaba y se situaba en el centro de esta. Una vez pasaron 10 segundos y el drone continuaba en el centro, se hizo que este se alejara y perdiera la referencia de la baliza, y comenzara su algoritmo de búsqueda. Una vez realizaba las espirales, en el momento que detectaba los colores de la baliza se centraba sobre estos, y una vez estaba prácticamente centrado, comenzaba a descender, hasta que detectaba que estaba a una altura suficiente y se le podía mandar la orden de aterrizar, posándose así sobre la baliza.

A continuación se muestra la secuencia de imágenes con el despegue y el drone alejándose de la baliza. Las imágenes de la búsqueda y el aterrizaje están en las figuras

CAPÍTULO 5. EXPERIMENTOS

5.4 y 5.6. La referencia para con el vídeo es la siguiente:

https://www.youtube.com/watch?time_continue=129&v=g9ZGJhRWTiY

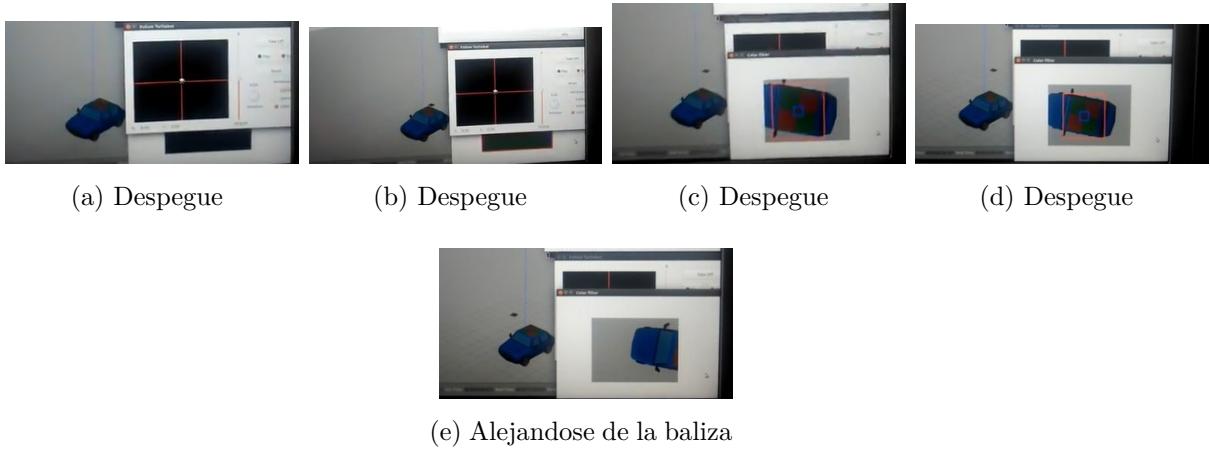


Figure 5.8: Algoritmo completo sobre el simulador.

Para la prueba con el drone real se colocaron dos puntos de referencia. Una baliza sobre la que situarse al despegar. De esta forma al comenzar el algoritmo, cuando detectaba esta baliza se centraba sobre ésta, y una vez pasaron 10 segundos comenzaba el algoritmo de búsqueda. En esta parte el drone se iba desplazando en función de las ordenes que se le mandaban en cada momento, hasta el momento en el que encontraba la baliza, momento en el que se centraba sobre esta y se le mandaba la orden de aterrizaje, quedando de esta forma el drone sobre la baliza.

Chapter 6

Conclusiones

Para finalizar, hay que realizar una evaluación del trabajo realizado, lo aprendido durante este periodo y los objetivos cumplidos. En un primer aspecto, podemos decir que el trabajo ha sido satisfactorio, se ha conseguido un algoritmo que desarrolle un despegue-búsqueda-aterrizaje como se deseaba en un primer momento, además que para llegar a ello se han superado distintos retos que han ido surgiendo a lo largo de su desarrollo.

- Percepción: Se ha conseguido realizar un filtro de color para poder aislar los objetos interesantes del resto. Este objetivo se ha conseguido, trabajando principalmente con la librería OpenCV como hemos visto en la sección 3.2. Destacar que en el simulador esto fue más sencillo debido a la nitidez de los colores y que en el drone real llevó mas trabajo. Además se han tenido que hacer diversas pruebas debido a los distintos lugares donde se probaba el drone y la diferencia de colores que había debido a la luminosidad, pero al final se consiguió un buen filtro, que con ayuda de los operadores morfológicos (erosión, dilatación, cierre y apertura), nos permitían obtener una imagen de fondo negro y los objetos de los colores deseados en primer plano. Estas diferencias se pueden observar en las sección 5.1, donde se muestran imágenes de la percepción con el drone real y

CAPÍTULO 6. Conclusiones

con el simulador.

Una vez obteníamos los objetos de los colores deseados, ver si estos eran los objetos que queríamos o no. Por una parte, se miraba el área que tenían las figuras, y en caso de no llegar a un tamaño predeterminado, estas se descartaban como posibles objetos. Por otro lado, nos apoyamos en la forma de la baliza, pues los 4 cuadrados que la componían formaban una cruceta en su centro, la cual era la que se trataba de detectar, por lo que no se dependía sólo de unos colores determinados, sino también de una figura.

- Control: Se ha obtenido un comportamiento con tres fases principales:
 - Despegue: Al despegar, el drone detecta una baliza sobre la que situarse y se estabiliza sobre esta, para obtener de esta forma un despegue controlado.
 - Búsqueda: En esta fase el algoritmo se desplaza en forma de elipse, recorriendo así la zona. Una vez que detecta un posible objeto trata de centrarse sobre éste.
 - Aterrizaje: Para finalizar, una vez se ha detectado la baliza y se ha centrado sobre ella, el drone comienza a descender, y una vez la baliza tiene un área determinado se envía la opción de aterrizar, terminando así el drone sobre la baliza.

En esta parte, a partir de la percepción, se han tenido que ajustar las velocidades, dependiendo si la prueba era para el drone real o para la simulación, como se ha contado en la sección 3.3. Los ejemplos del control del algoritmo se pueden ver en las distintas secciones del capítulo 5, destacando que el algoritmo completo se encuentra en la sección 4.5, tanto para el drone real como para la simulación.

- Validación experimental: Cada parte del experimento se ha evaluado por separado a lo largo de este, haciendo distintas pruebas para la detección de

CAPÍTULO 6. Conclusiones

balizas, así como el control del drone una vez se detectaban estas. Estas pruebas pueden verse a lo largo del capítulo 5, pero muchos de los avances y cambios que se han dado durante el desarrollo están disponibles en la wiki oficial del proyecto, indicada en el capítulo 2. Aún con todo, destacar que trabajar en el drone real ha sido mucho más costoso de lo esperado, sobre todo para el control de velocidades, pues cualquier cambio pequeño en un valor suponía gran cambio en la realidad. Todo esto también fue importante para ver la diferencia que hay cuando tienes sólo un control proporcional y después le añades las componentes integral y derivativa.

Las distintas pruebas y los avances que se han ido dando durante el desarrollo, se han ido validando y están disponibles en la wiki oficial del proyecto:

<http://jderobot.org/Jvela-tfg>

Por otro lado, mirando los proyectos anteriores a este en los que había trabajado RoboticsLabs URJC con drones, podemos ver que se ha conseguido algo diferente, ya que en este caso hemos conseguido que un drone navegue de forma autónoma guiándose por las balizas de color, consiguiendo que vaya de un punto a otro.

6.1 Líneas futuras

Es importante destacar que estos campo de la robótica y la visión se está produciendo un importante crecimiento, y añadiendo lo aprendido en el trabajo y como se puede trabajar en él creo que sería interesante continuar la línea de este proyecto para continuar con el desarrollo y aprendizaje de estas técnicas. Algunas aplicaciones podrían ser las siguientes.

- 1^a Probar en exteriores con otro drone diferente, el 3DRSolo drone.

CAPÍTULO 6. Conclusiones

- 2^a Probar trayectorias más lejanas donde la parte intermedia vaya recurriendo puntos GPS, y sólo en la parte final, ya cerca de las coordenadas del destino se active la búsqueda visual de la baliza de aterrizaje y el propio aterrizaje.
- 3^a Incorporar autolocalización visual al drone para elaborar una estrategia de búsqueda más elaborada y de mayor amplitud.