Capítulo 1

Despegue, busqueda y aterrizaje.

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, veiamos los fallos e imperfecciones y tratabamos de arreglarlos. Ademas, según el punto en el que nos encontraramos nos interesaba mas fijarnos en unos u otros detalles, por lo que no solo habia cambios en la base del algoritmo principal sino también en el GUI(Interfaz Grafica de Usuario). Para la explicación de esto, abordaré 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.

1.1. Diseño.

El diseño de este algoritmo se trata de un ciclo continuo. Se trata de un proceso basado en adquisición-procesado-envio de datos.La parte de adquisición se realizará gracias a los sensores del dron, los cuales obtendran cierta información. Esta información será transmitida al dispositivo que la procese, y una vez hecho esto el dispositivo enviara instrucciones al dron, que seran las que indiquen la velocidad,dirección y sentido en el que este se tiene que desplazar. Tenemos los sensores del dron, de los cuales la camara 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, querra 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. Pongamonos en el caso de que el dron 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 interes. En caso de ver que hay un

objeto que posiblemente sea la baliza, se eliminaran los objetos que sean menores a un determinado area, para asi 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 seran explicadas mas adelante para asegurarse de que se trata de una baliza.Llegando en este punto al envio de datos. En caso de tratarse de una baliza, el algoritmo enviara las instrucciones correspondientes, indicandole los movimientos a realizar comportarse frente a esta. En caso contrario, el algoritmo enviara las instrucciones para que continue con la busqueda.

1.2. 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 dron sabe en que punto del algoritmo se encuentra y que información enviar. Las primeras pruebas no eran muy complejas, obteniamos una imagen RGB que era la que se transmitia, la convertiamos a HSV para que fuera mas facil su interpretación, debido a que no tenemos tres colores a los que tratar sino tres parametros(Matiz, saturacón y valor). Lo que se conseguia 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 estabamos 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 podia 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 pixel 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
  Aplicación: Pixeles que parecen de fondo, pasan a ser de la figura si estan cerca de pixeles 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 caracteristicas de esta para así facilitar las posteriores operaciones a realizar) y asi obtener una mejor imagen con la qe trabajar. Hay que destacar que las mas utilizadas durante la realización de este trabajo han sido la erosion y la apertura. Pues con la erosión evitabamos que se colaran pixeles de fondo como parte del objeto, por lo que obteniamos 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 pixel en negro conseguiamos que este pasara a formar parte de la figura, por lo que con estos metodos habiamos 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:

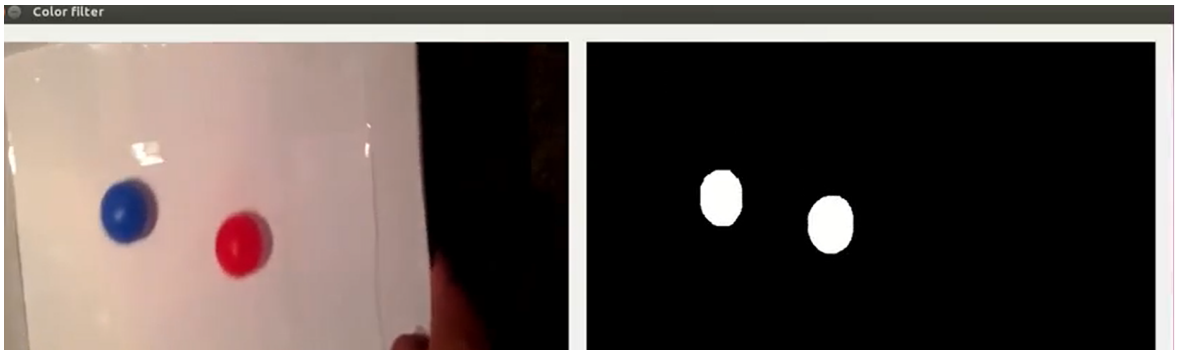


Figura 1.1: Esta imagen muestra un primer filtro de color.

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

```
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 codigo, conseguiriamos que la imagen resultante no quedara en blanco y negro, sino que lo objetos que pasan el filtro se mostraran en su color original.

Con esto se obtuvo una primera buena señal, y era que sobre imagenes reales(con imperfecciones) conseguiamos realizar los filtros que queriamos, 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 constaria de un cuadrado formado por 4 cuadrados de dos colores:

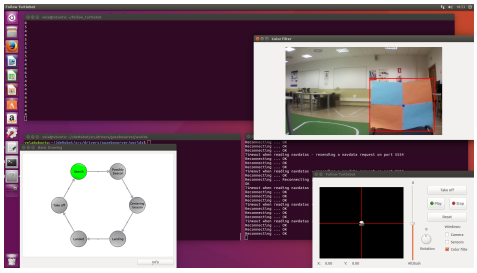


Figura 1.2: Esta imagen muestra el conjunto de herramientas utilizadas.

Con la imagen de simulador, lo que tuvimos que hacer fue cambiar los valores al filtro de color anterior, con lo que ya conseguiamos obtener los colores de la baliza, pero sobre la baliza real se estuvo mas 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.

Pero en realidad en este punto solo teniamos el primer paso, que la baliza pasara el filtro de color, ahora teniamos 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 veian, hasta llegar a un algoritmo final.

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

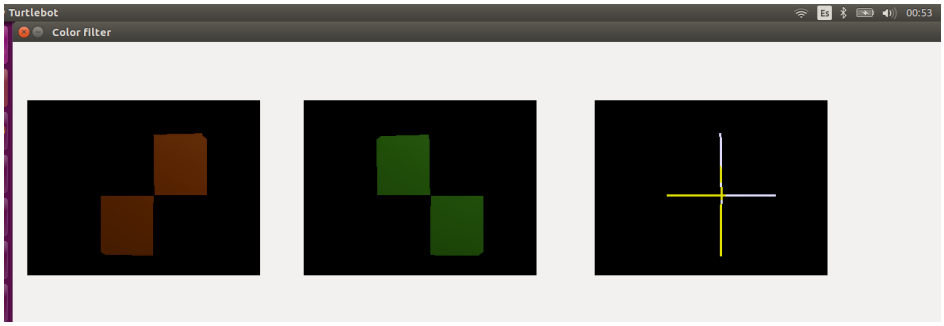
```
momentsOrange = cv2.moments(maskOrange)
x_center = int(momentsTot['m10']/momentsTot['m00'])
y_center = int(momentsTot['m01']/momentsTot['m00'])
```

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 este 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 dron real como el del simulador tienen dos camaras, que obtienen distintas imagenes

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 dron) para que este se mueva, centrando su centro y el del objeto.

Tras conseguir, con un filtro y unas funciones, que el dron pudiera situarse sobre un objeto fitrado, pasamos a mejorar la detección de la baliza. La idea principal 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 trabajabamos en el simulador. Una vez obteniamos las imagenes 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 obteniamos la cruceta de la baliza. En este punto en el *color filter* de la herramienta veiamos los dos filtros por separado y la intersección de ambos:



En este punto, cuando el dron 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 detectabamosel 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 habiamos obtenido lo que queriamos, y se decidió trabajar hacia una ventana que mostrara la imagen completa de lo que estaba viendo el dron y marcara de alguna forma el contorno y cruceta de dicha baliza. Para esto fueron muy utiles las funciones *findContours* y *drawcontours* de OpenCV, las cuales nos permitian encontrar los bordes de los objetos de las imagenes y marcar estos. Lo que haciamos en este proceso era obtener los bordes de las imagenes que habían pasado el filtro y despues pintar sobre la imagen original.Para poder utilizar esta función necesitabamos pasar la imagen a escala de grises, como podemos ver a continuación:

```
imgray1 = cv2.cvtColor(maskRGBOrange,cv2.COLOR_BGR2GRAY)
ret,thresh = cv2.threshold(imgray1,255,255,255)
_,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 teniamos un algoritmo principal que hacía lo que buscabamos en situaciones ideales, pero seguia teniendo varios fallos. El primero a arreglar era que si en lugar de 4 cuadrados la baliza solo tenia dos, al dilatar y filtrar obtendriamos 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 trataria de una baliza, en caso de no ser de esta forma no se trataria como tal. En la parte de visión estuvimos mucho tiempo trabajando con este algoritmo, pues para el simulador funcionaba bien. Pero en este punto, en la parte de visión, detección de colores y realización del filto, comenzamos a trabajar con el dron 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 dron real se hizo una baliza como la que teniamos 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 dron confundia muy facil los colores. Para arreglar esto se empezo 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 segun la situación que estuviera, trabajando en HSV se consiguio, y tras esto en el pre-procesado se realizó una erosión con mas iteraciones de forma que eliminaba mejor los pixeles de fondo, pues en estas pruebas el problema era que uno de los colores de fondo era muy parecido al color de la cartulina. También añadimos que el dron solo hiciera caso a los objetos con un area mayor a determinado valor, con lo que conseguiamos 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 complicacion 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 dron y poner la baliza delante. Una vez que movieramos la baliza el dron debía moverse en el mismo sentido, prueba que, aunque costosa, se realizo con exito. Destacar que también en este momento la imagen que mostraba *color filter* se volvio 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 facil 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 situabamos 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 area era mayor que el deseado y en caso de calcular el centro del area 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 colores deseados, pasando el resto a ser píxeles de fondo. De aqui obtenemos dos imágenes, una por color.

2. De cada imagen, obtenemos el número de objetos, sus areas y sus contornos. Vamos recorriendo los objetos de las imagenes, en caso de tener un area 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 imagenes.

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 situe el contorno se sumara a cada pixel 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 intersecccionen 4 objetos será la cruceta (ejemplo de la suma de imagenes en figura 4).

4. Una vez tenemos esta imágen 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 pixeles 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 funcion rectangle de OpenCV marcamos la cruceta de la baliza(como 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.

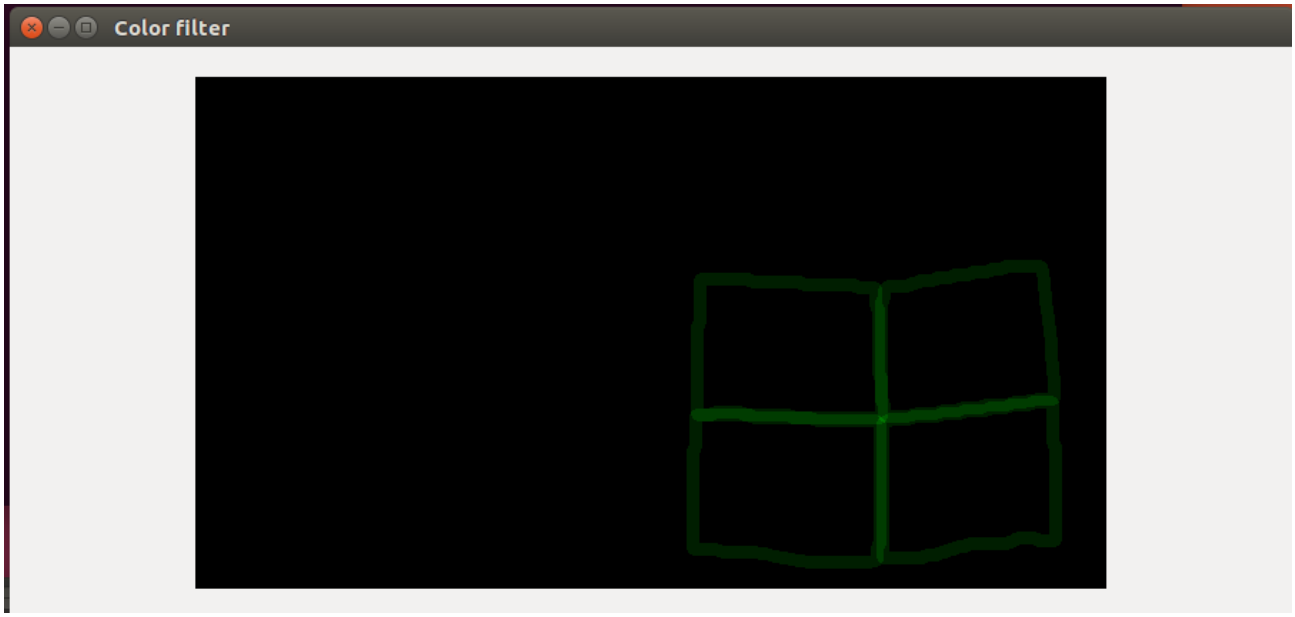


Figura 1.3: Imagen que muestra la suma de las diferentes imagenes creadas por cada objeto.

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 imagenes obteniendo la imagen final.

```
f = []
i=0
imgray2 = cv2.cvtColor(maskRGBOrange,cv2.COLOR_BGR2GRAY)
ret,thresh = cv2.threshold(imgray2,255,255,255)
_,contours, hierarchy = cv2.findContours(thresh,cv2.RETR_TREE,cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
areas = [cv2.contourArea(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 pixeles 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)
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+
        ,(0,0,255),2)
        positionX= (posicion_x+posicion_x+ancho)/2
        positionY= (posicion_y+posicion_y+ancho)/2
```

1.3. Control.

Una vez terminado el filtro de color, hablemos del algoritmo de movimiento del dron. Las primeras pruebas sobre simulador se realizaban de forma simple: El dron despegaba, y mientras no detectara baliza sobre la que centrarse, subia 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 probo que la baliza se desplazara y que el dron fuera capaz de seguirla. Prueba que también funciono 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 centraba, evitando de esta forma que el dron frenara de forma brusca y disminuir los balanceos y turbulencias. Aun así, se detectaban ciertas inperfecciones debido a que se trataba de un controlador proporcional, el cual funcionaba bien pero no lo suficiente, por lo que se decidio añadir una componente derivativa, con el objetivo de mantener el error al minimo, evitando que este se incremente y por lo tanto el dron 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 deriavtivo realizabamos 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 atenúe de forma que el dron 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 dron tiene un algoritmo de busqueda, 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 disminuia la velocidad de rotación, al mismo tiempo que aumentaba la velocidad hacia delante, con lo que conseguiamos un algoritmo de busqeda en espiral, pudiendo recorrer de esta forma un determinado area con facilidad. 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
```

Por ultimo, otra herramienta que se utilizo fue el diagrama de estados gracias a la herramienta visualStates. Esta parte es sencilla, al arrancar la aplicación se pueden crear distintos estados haciendo que unos apunten a otros, de tal forma que puedes ver el punto en el que se encuentra el algoritmo. Cada vez que pasas por una parte del código, indica en que punto se encuentra y este se marca con color verde sobre el diagrama. En un principio este diagrama constaba de tres estados, despegue, busqueda y aterrizaje(que como veremos mas adelante, son las partes principales del algoritmo), aunque para tener mas datos modificamos para tener despegue, busqueda, posible baliza, centrandose sobre la baliza, aterrizando y aterrizado. Este nos fue de gran utilidad, pues cuando en un inicio planteamos los posibles estados que había y sus distintas transiciones vimos que había multitud de posibilidades, dependiendo de que parte viera de la baliza, si solo veia un color y al final encontraba dos o simplemente era otro objeto que coincidia, si por alguna casualidad perdia la baliza y tenia que comenzar el algoritmo desde el principio, o si todo iba correctamente. Gracias a que se mostraba este diagrama, era todo mucho mas sencillo.

Para poder añadirlo lo unico que se tuvo que hacer es añadir dos paquetes del GUI de JdeRobot, uno que permitia abrir otra ventana y otro que permitia 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 obteniamos esto:

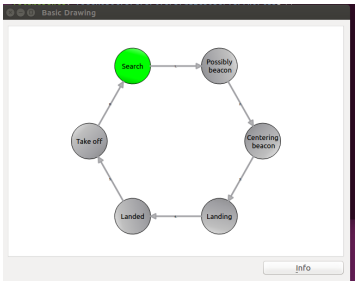


Figura 1.4: Imagen que muestra el diagrama de estados.

1.4. Funcionamiento del algoritmo.

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

El despegue del dron. Para estas pruebas se ha estimado que el despegue constara de entre 5 y 10 segundos dependiendo el entorno en el que nos encontremos. Este varia principalmente por el espacio disponible, pues esta parte lo que pretende es levantarse del suelo y alcanzar cierta altura. Aunque es la parte mas sencilla, en un principio pensamos que todo ocurriria 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 mantenia la posición, sino que se desplazaba cuando se le enviaban instrucciones de quedarse en el sitio(en mi caso,con el dron que trabajaba una vez se levantaba comenzaba a ir hacaia atras). Debido a esto, decidimos que el despegue se controlara también mediante visión. Lo que pretendiamos con esto es que una vez el dron estuviera en el aire, detectara una baliza de color naranja, calculara su centro e intentara situarse sobre este, asegurandonos así realmente que el dron permanecia en el sitio. Trabajando en esta idea nos dimos cuenta que el dron 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 estan 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 dron en el aire llegamos a la parte mas compleja, **la busqueda** de la baliza. En este momento se marca el estado «Search» en el diagrama de estados, y el dron 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 dron se aparta de esta y continua con su algoritmo de busqueda, pero en caso de serlo marca sobre el diagrama de estados «Centering beacon» haciendo que coincidan sus centros. Aqui ya no se fija en el area 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 dron pierda parte de la baliza y no la detecte como tal, pero si siga detectando objetos, en este caso tratara a tales objetos como la baliza e intentara situarse de nuevo sobre ellos durante un periodo de tiempo. En caso de tratarse de algun otro factor y que ya no exista baliza en este punto continuara buscando. Una vez el centro de la imagen y la cruceta estan 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 area en el que se

considera que ya esta 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 envias la instrucción de «land» al dron este comienza a descender hasta que llega al suelo y para sus motores. Este momento se produce cuando el dron 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 ningun obstáculo ni se van a producir accidentes. Se marca en el diagrama de estados «Landing» y el dron 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.

Capítulo 2

Experimentos.

Durante este capítulo voy a contar las distintas pruebas que se han realizado durante todo el proceso. Cabe destacar que en un principio las pruebas fueron muy variadas y no todas se han utilizado en la idea final. Esto se debe a que en un principio teniamos diversas opciones e ideas, y fuimos investigando en ellas, pero por diversos factores no se llevaron a cabo.

En un principio la idea era hacer funcionar todo sobre el **3DR solo drone**, debido a sus muy buenas características anteriormente explicadas. Para ello estuvimos, junto a otro compañero, un tiempo estudiando su funcionamiento y como podiamos acoplar este a la tecnología JdeRobot. Fue un proceso costoso y donde pudimos detectar sus virtudes y defectos, pues tras probar el dron, manejandolo con su mando, veiamos que sus increibles características como podian ser su potencia a la hora de los movimientos y la gran estabilidad que tenia al realizar movimientos bruscos con el. Tras esto, al comenzar a trabajar con las herramientas nos dimos cuenta del primer problema, el que levantaba la red WiFi no era el dron sino el mando que venia con el, el dron levantaba la red de radiofrecuencia y con esta se comunicaba por el mando, lo que conllevaba que la navegación del dron para ejecutar un algoritmo dependia de la distancia de este al mando. Buscando encontramos que la empresa estaba trabajando en una solución a esto, pero que tardaría meses en llegar. Por otro lado se juntaba que el dron no tenía una camara incorporada, ya que funcionaba con una GoPro, para la cual JdeRobot no tenia soporte. A todo esto habia que buscarle una solución, así que se penso en añadir una camara para la visión de otra forma. Gracias a la potencia de este dron se le podian añadir materiales sin que esto le impidiera volar, como era una *intel compute stick* y una *camara externa*. Realizamos pruebas con la intel computer stick y el ArDrone, el cual funcionaba sin problemas, y mas adelante probando la comunicacion de la intel con este drone levantando el servidor y por otro lado el ordenador comunicando con la intel y enviandole las instrucciones para que las realizara el dron, prueba que se realizo con exito. Al igual que funciono esto, también funcionaron las

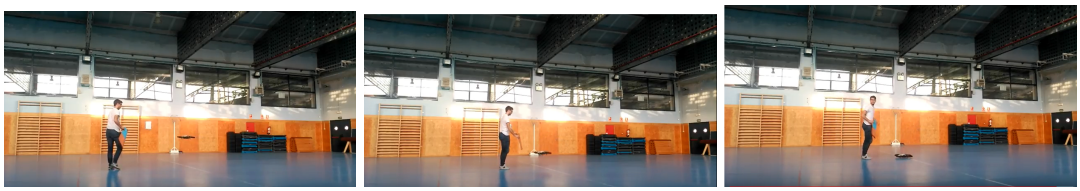
pruebas con el dron 3DR Solo, pudiendo manejarlo con las herramientas JdeRobot y viendo sus datos cuando este realizaba movimientos. Tras esto, como la idea del algoritmo era que funcionara también en interiores, por ejemplo en grandes naves industriales para el control y desplazamiento de mercancia, nos pusimos con esta prueba, lo que nos hizo darnos cuenta de que debido a su GPS, hasta que no encontraba una señal lo suficientemente fuerte no te dejaba despegar, protocolo de seguridad por si habia algún problema que pudiera utilizar su modo "retunr home". Pero utilizando el protocolo MAVLink desde el ordenador habí un modo que te permitia evitar las restricciones de seguridad, haciendo asi que el dron despegara y pudiera ser utilizado en cualquier lugar. Fue al probar esto cuando la potencia del dron nos jugó una mala pasada, pues genero una cantidad de corrientes internas de aire que, en el momento de su despegue, en el cual hay unos segundos donde no se tiene control sobre el,no lo hiciera totalmente en vertical sino con una desviación hacia su izquierda, lo que llevo a chocar con distintos obstáculos. Por ultimo e intentando utilizar varios materiales juntos, probamos a unir la intel computer stick al ArDrone 2.0, para ver si tenía suficiente fuerza como para volar con el, pero el ArDrone no consiguió levantarse del suelo.

Tras la realización de las pruebas y alguna mas que surgió a raiz de estas, nos dimos cuenta de que habiamos obtenido grandes avances que sin haber realizado un trabajo conjunto podrían habernos llevado mucho mas tiempo, pues esto nos aportó muchos datos que nos servirian mas tarde, a parte de aprender el funcionamiento de estos drones, los materiales que los componian y como realizar la comunicación dron-ordenador para el envio de información y recibo de datos. Por todo esto y por los frentes que se iban abriendo para trabajar sobre el dron, fue cuando dividimos un poco mas nuestras tareas, ya no investigando un conjunto de cosas sino dividiendo las tareas y semanalmente poniendo en comun los avances que habiamos realizado, para ver que ibamos encaminados hacia el objetivo. En este punto fue cuando quedo marcada mi tarea principal para poder realizar este proyecto. **La detección de balizas y algoritmo de movimiento**.

Ya se ha explicado antes como fue el desarrollo del algoritmo, pero la verdad es que las distintas pruebas realizadas son las que de verdad permitieron su desarrollo.

Se comenzo trabajando con las camaras del ArDrone server en un espacio pequeño y cerrado, donde se consigió un filtro para los dos colores de la baliza. Tras esto se quiso probar el dron en un espacio amplio,debido a que en espacios pequeños, al despegar el dron no se mantenia en el eje Z sino que lo hacia en diagonal, por lo que se chocaba con obstaculos como podían ser las mesas que había, y ya se aprovechó para que asi pudiera realizar todo el algoritmo. Pero a la hora de detectar los colores se notaba la luz que entraba en todos los momentos y como iba oscureciendo con el atardecer, lo que llevo a que la prueba con el dron real no se hiciera sobre dos colores sino centrandonos solo en el naranja. Una vez consegido el filtro, el fondo del pabellón en el que estabamos, la pared era de un marron muy claro que se podia confundir con

la baliza, por lo que se fijo mas la idea de obviar los elementos pequeños, y realizar una mayor erosión, y entonces salio una primera prueba de gran valor, cuando nos situabamos delante del dron con la baliza , este aterrizaba:



(a) Volando (b) Aterrizando (c) Aterrizado

Figura 2.1: Aterrizaje

Despues de esta prueba en el mismo lugar, decidimos probar el algoritmo de busqueda, sin encontrar la baliza, solo ver que una vez que despegaba se desplazaba realizando una espiral, prueba que quedo grabada y también se realizo con éxito.

Ya teniendo el algoritmo de busqueda y un primer filtro de color, las pruebas se centraron en que el dron consiguiera centrarse sobre una baliza tras despegar. En un principio fue complicado, pues el dron que se tenía para realizar las pruebas al despegar, en los dos segundos que no teniamos control sobre el, en lugar de subir verticalmente lo hacía en diagonal hacia atras, lo que nos llevo a comprobar que distancia recorria en este tiempo para poder jugar con ella, colocando el dron unos metros delante de la baliza, para que en el momento que se tomaba el control se situara sobre esta. Los primeros controles no eran muy fluidos, pues el algoritmo que había para detectar el color e indicar sobre el GUI eran un poco pesados, y añadiendo a eso que solo se tenía un control progresivo, oscilaba mucho, llegando un momento que perdia la baliza. Debido a esto se mejoro sobre todo el control, aunque también el algoritmo, utilizando mas funciones de OpenCV, por ejemplo. Con todo esto, el dron se mantenía sobre la baliza aunque continuaba oscilando mas de lo que debiera. Poco a poco se fue ajustando para que la oscilacion fuera mínima.

Como con un color ya teniamos grandes avances, se volvio a trabajar sobre la baliza real, lo que nos llevo a ajustar de nuevo un poco la parte del filtro de color y la información que se enviaba debido a este, pues en cada prueba prácticamente habia que modificar parte del pre-procesado debido a las condiciones del lugar. Pero una vez se vio que era algo robusto se intento trabajar de nuevo en lugares de menor tamaño, y destacar que las pruebas salieron bien, pues habiendo calculado la distancia que recorria en diagonal, al contar con esta distancia en el despegue, cuando se tomaba control del dron, este veía la baliza que se le tenia puesta, por lo tanto ejecutaba las instrucciones que se le enviaban y no se desviaba mas de lo debido. El problema de comenzar a trabajar en este entorno de trabajo fue que el suelo era de un color muy

parecido al que teníamos en la baliza, y por tanto se tuvieron que ajustar de nuevo los filtros de color. Decir que de nuevo se volvian a producir mas oscilaciones de las esperadas , así que para evitar esto finalmente se añadio lo llamado banda muerta, de forma que si la desviación es minima no intente centrarse sino que se quede en el sitio, y si la desviación se encuentra dentro de unos limites se corriga muy brevemente, consiguiendo asi que el dron este situado sobre cierto area, que era lo que se pretendia, aunque no sea exactamente el centro.
Como se puede observar, todas estas son las pruebas realizadas con materiales reales, pero destacar que todas estas, antes de probarlas así fueron realizadas en el simulador, ya que era lo mas comodo para trabajar calculando areas, centros y la utilización de operadores morfológicos. Contar las pruebas realizadas sobre este sería repetir en cierta forma el proceso, pero si me gustaría destacar la primera prueba que se hizo con el controlador PD, pues en videos vistos a posteriori se puede comprobar la diferencia de oscilación, pues en el real cuando oscilaba mucho el dron, perdia la baliza y se le mandaba la instrucción de quedarse en el sitio para que pudiera aterrizar, en el simulador se veía como giraba bruscamente, perdia la baliza y volvia a su posición, donde volvia a ver la baliza lo que le llevaba a girar bruscamente de nuevo, así durante varias iteraciones hasta que se centraba y se paraba ese movimiento brusco. Sin embargo cuando se añadio este controlador se veia como por el cambio de velocidad tenia un punto de frenado debido a la diferencia entre velocidades y poco a poco volvia a acelerar en una dirección o frenar, segun lo requerido en ese momento.