



Diseño, análisis y desarrollo de un sistema prototipo de discriminación y seguimiento de drones mediante el uso de cámaras de video

Chisaguano Pruna, Carlos Alvaro y Tufiño Córdova, Héctor Alexis

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Msc. León Vásquez, Rubén Darío

27 de enero del 2022

COPYLEAKS

Tesis_Chisaguano_Tufiño FINAL.pdf

Scanned on: 23:4 January 28, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	134
Words with Minor Changes	19
Paraphrased Words	308
Omitted Words	0



Verifique el contenido de esta página por:
**RUBEN DARIO
LEON VASQUEZ**

Ing. León Vásquez, Rubén Dario

C. C. 1801654284



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “Diseño, análisis y desarrollo de un sistema prototipo de discriminación y seguimiento de drones mediante el uso de cámaras de video” fue realizado por los señores **Chisaguano Pruna, Carlos Alvaro y Tufiño Córdova, Héctor Alexis**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 27 de enero del 2022

Firma:



Al escanear el código QR, se muestra la firma por:
RUBEN DARIO
LEON VASQUEZ

Ing. León Vásquez, Rubén Darío

C. C. 1801654284



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Chisaguano Pruna, Carlos Alvaro** con CI: 1723555445 y **Tufiño Córdova, Héctor Alexis** con CI: 1722190392, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “**Diseño, análisis y desarrollo de un sistema prototipo de discriminación y seguimiento de drones mediante el uso de cámaras de video**” es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 27 de enero del 2022

Firma

Chisaguano Pruna Carlos Alvaro
C.C. 1723555445

Tufiño Córdova, Héctor Alexis
C.C. 1722190392



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros **Chisaguano Pruna, Carlos Alvaro** con CI: 1723555445 y **Tufiño Córdova, Héctor Alexis** con CI: 1722190392, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**Diseño, análisis y desarrollo de un sistema prototipo de discriminación y seguimiento de drones mediante el uso de cámaras de video**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 27 de enero de 2022

Firma

Chisaguano Pruna Carlos Alvaro
C.C. 1723555445

Tufiño Córdova, Héctor Alexis
C.C. 1722190392

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a Dios por darme salud y vida en estos años de carrera.

A mis padres por darme todo el apoyo necesario para alcanzar mis metas, su ejemplo me ha servido de guía para tomar decisiones, siempre han sido el motor que me impulsa a ser un hombre de bien para la sociedad.

Chisaguano Pruna Carlos Alvaro

Este trabajo va dedicado a mis Padres quienes con infinito amor y dedicación supieron guiarme por el camino de la honestidad, esfuerzo y determinación, confiando ciegamente en mis habilidades y virtudes, siendo parte esencial de cada una de las etapas de mi vida y enseñándome siempre a luchar incondicionalmente hasta cumplir mis objetivos, anhelos y sueños.

Tufiño Cordova Héctor Alexis

Agradecimiento

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por las experiencias vividas, a sus docentes que compartieron su conocimiento, con los cuales logré conseguir esta meta.

Agradezco a mi madre Lilia por patrocinar la carrera y brindarme su sacrificio para cubrir toda la necesidad.

Agradezco a mi familia quienes me han dado apoyo en momentos difíciles y por ser parte fundamental en mi formación.

Agradezco a mi tutor de tesis y al Ing. Héctor Moya por el apoyo brindado a lo largo de la carrera y en el presente trabajo con su guía, conocimiento y enseñanzas.

Chisaguano Pruna Carlos Alvaro

Agradezco a mis padres Héctor, Gladys y a mi hermana Nicole porque ellos han sido los únicos responsables de este logro, por orientarme y aconsejarme siempre ya que eso me ha ayudado a ser un hombre de bien.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y sobre todo a mi tutor de tesis e Ing. Héctor Moya por los conocimientos impartidos durante toda mi vida estudiantil, principalmente en el presente trabajo y gracias a los cuales me estoy convirtiendo en un profesional.

Agradezco a mis compañeros y amigos, sobre todo a los que siempre estuvieron ahí, porque sin todos ustedes, seguro que no estaría escribiendo estas líneas.

Finalmente, un especial agradecimiento a Dios quien me dio la vida y me permitió conocer todo lo hermoso y sublime que existe en el mundo.

Tufiño Cordova Héctor Alexis

Contenido

ANÁLISIS DE URKUND	2
Certificación Biblioteca	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Contenido	9
Índice de Tablas	13
Índice de Figuras	14
Resumen	16
Abstract	17
CAPÍTULO I	18
Introducción	18
Antecedentes	18
Justificación	19
Alcance del proyecto	20
Objetivos	21
Objetivo General	21
Objetivos Específicos	21
Resumen de contenidos	22

	10
CAPÍTULO II	23
Marco Teórico	23
Definición de Drone	23
Legalidad y normativa en el Ecuador.....	23
Tipos de Drones	26
Ventajas de la detección de drones.....	29
Algoritmos o métodos de seguimiento (tracking)	30
Hand-Tracking	30
Face-Tracking.....	31
Object-Tracking	32
Librería OpenCV	33
Ventajas y desventajas de OpenCV	34
Ventajas.....	34
Desventajas	34
Módulos de OpenCV	35
Estructura de OpenCV	35
Microsoft Visual Studio 2019	36
Lenguaje de programación.....	37
Lenguaje C++.....	37
CAPÍTULO III	39
Materiales y Métodos	39

Componentes del prototipo	39
Hardware del sistema.....	39
Drone Parrot Bebop 2.....	40
Conectividad con el drone.....	42
Conexión inalámbrica	42
Características de la cámara	43
Características de movimiento	43
Cámara EL-8000IR	44
Aplicación FreeFlight Pro	45
Driver Honestech VHS to DVD 3.0 SE	46
Características del driver Honestech VHS a DVD 3.0	46
Sistema prototipo de discriminación y seguimiento	47
Algoritmo de detección y seguimiento	48
Funciones de OpenCV aplicadas en el algoritmo	49
Aplicación de la librería OpenCV	52
CAPÍTULO IV	55
Análisis de resultados.....	55
Prueba No 1	55
Prueba No 2	57
Prueba No 3	58
Prueba No 4	59

	12
Prueba No 5	60
Prueba No 6	61
Prueba No 7	62
Prueba No 8	63
Prueba No 9	64
Validación final	67
CAPÍTULO V	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
Conclusiones	69
Recomendaciones	71
Trabajos Futuros	72
Referencias	73

Índice de Tablas

Tabla 1.	<i>Precio de los seguros contra daño a terceros</i>	25
Tabla 2.	<i>Descripción de los recursos del equipo.....</i>	39
Tabla 3.	<i>Descripción de las características del drone Parrot Bebop 2.....</i>	40
Tabla 4.	<i>Características de conexión inalámbrica.....</i>	42
Tabla 5.	<i>Características de la cámara del drone Parrot Bebop 2</i>	43
Tabla 6.	<i>Características cámara Super Night Vision Outdoor (EL-8000IR).....</i>	45
Tabla 7.	<i>Resultados de la validación del algoritmo</i>	66

Índice de Figuras

Figura 1.	<i>Instalaciones de la Dirección General de Aviación Civil</i>	24
Figura 2.	<i>Drone Easystar</i>	26
Figura 3.	<i>Drone Wings</i>	27
Figura 4.	<i>Drone Multicópteros</i>	28
Figura 5.	<i>Drone Hexacóptero</i>	28
Figura 6.	<i>Drone Octocóptero</i>	29
Figura 7.	<i>Localización de mano mediante cálculo de áreas convexas</i>	31
Figura 8.	<i>Localización de los puntos faciales</i>	32
Figura 9.	<i>Estructura de OpenCV</i>	36
Figura 10.	<i>Drone Bebop 2 Parrot</i>	41
Figura 11.	<i>Movimiento lineal y angular del drone Parrot Bebop 2</i>	44
Figura 12.	<i>Arquitectura del sistema</i>	47
Figura 13.	<i>Diagrama de flujo</i>	48
Figura 14.	<i>Diagrama de flujo técnica de detección por segmentación</i>	52
Figura 15.	<i>Prueba No 1 del sistema prototipo</i>	56
Figura 16.	<i>Prueba No 2 del sistema prototipo</i>	57
Figura 17.	<i>Prueba No 3 del sistema prototipo</i>	58
Figura 18.	<i>Prueba No 4 del sistema prototipo</i>	59
Figura 19.	<i>Prueba No 5 del sistema prototipo</i>	60
Figura 20.	<i>Prueba No 6 del sistema prototipo</i>	61

Figura 21.	Prueba No 7 del sistema prototipo	62
Figura 23.	<i>Prueba No 9 del sistema prototipo</i>	64
Figura 24.	<i>Validación del algoritmo en instalaciones del CICTE</i>	67
Figura 25.	<i>Validación del algoritmo en diferentes distancias</i>	68

Resumen

El incremento de drones que sobrevuelan el espacio aéreo en determinadas zonas, sin conocer sus requerimientos u objetivos de vuelo ha planteado el desarrollo de un prototipo para un sistema de detección, identificación y seguimiento de drones, a través de metodologías Original Equipment Manufacturer (OEM) utilizando cámaras de vídeo. De igual manera, está enfocado a incrementar la capacidad de respuesta de los sistemas de seguridad y vigilancia públicos. El algoritmo que se emplea para la discriminación de un objetivo específico se desarrolla en el entorno integrado Visual Studio 2019 con lenguaje de programación C++ y la biblioteca de código abierto para visión por computadora OpenCV, eficiente para proyectos de investigación que emplea visión artificial, para lo cual se realizó el análisis de método de detección mediante el uso de una cámara de vídeo Super Night Vision Outdoor (EL-8000IR) y un drone Parrot Bebop 2, además el sistema prototipo fue evaluado experimentalmente en las instalaciones de la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE conjuntamente con la ayuda de docentes que están disponibles en el Centro de Investigaciones Militares CICTEC, obteniendo resultados exitosos, por tal motivo el sistema y el algoritmo desarrollado detecta e identifica al drone a una distancia máxima de noventa metros siguiendo la trayectoria sin inconvenientes, sin duda alguna el prototipo puede ser usado como referencia en el campo y en los sectores estratégicos que requieran vigilancia.

PALABRAS CLAVES:

- **DRONE**
- **ORIGINAL EQUIPMENT MANUFACTURER (OEM)**
- **OPENCV**
- **VISIÓN ARTIFICIAL**

Abstract

The increase of drones flying over the airspace of certain areas, without knowing their requirements or flight objectives, has led to the development of a prototype for a drone detection, identification and tracking system, through Original Equipment Manufacturer (OEM) methodologies using video cameras. Likewise, it is focused on increasing the response capacity of public security and surveillance systems. The algorithm used for the discrimination of a specific target is developed in the integrated environment Visual Studio 2019 with C++ programming language and the open source library for computer vision OpenCV efficient for research projects using computer vision, for which the analysis of detection method was performed using a video camera Super Night Vision Outdoor (EL-8000IR) and a drone Parrot Bebop 2, In addition, the prototype system was experimentally evaluated in the facilities of the University of the Armed Forces ESPE together with the help of teachers who are available at the Center for Military Research CICTEC, obtaining successful results, for this reason the system and the algorithm developed detects and identifies the drone at a maximum distance of ninety meters following the trajectory without inconvenience, no doubt the prototype can be used in the field and in strategic sectors that require surveillance.

KEYWORDS

- **DRONE**
- **ORIGINAL EQUIPMENT MANUFACTURER OEM**
- **OPENCV**
- **ARTIFICIAL VISION**

CAPÍTULO I

Introducción

Este capítulo realiza una reseña de los principales factores que permiten tener una visión general del trabajo de investigación titulado: “Diseño, análisis y desarrollo de un sistema prototipo de discriminación y seguimiento de drones mediante el uso de cámaras de video.”

Antecedentes

Hoy en día la presencia de vehículos aéreos no tripulados o mejor identificados como drones son un problema debido a su deficiente utilización, una reseña escrita en el diario The Independent dice que en el país británico debido al uso de drones en el campo civil por ejemplo, las llamadas a la policía son 4 veces más cada año, así de las 94 de 2014 se elevó a 425 en 2015 y con el paso de los años esos números han crecido exponencialmente hasta la actualidad denunciando algún tipo de irregularidad (Beltrán, 2018). Los drones son utilizados considerablemente en el tema de la recopilación y seguimiento de información, incluso se usan para atacar o determinar objetivos determinados.

Por lo tanto, la localización de drones en áreas restringidas o zonas especiales es primordial y necesaria (Pham & Nguyen, 2020). Por ejemplo, en el año 2019 se pudo conocer que un conjunto de drones mejor conocido como enjambre de drones, investigó los campos de la planta de energía nuclear de Palo Verde en Arizona en septiembre de dicho año. Los informes determinaron que se examinó el área restringida durante dos noches seguidas mientras las fuerzas de seguridad solo pudieron observar sin realizar ningún tipo de defensa (Friedrich, 2021).

Ahora bien, en Ecuador también existen normativas para que el uso de drones dentro de espacios aéreos no controlados sea restringido (Beltrán, 2018).

Por lo tanto, el proyecto está enfocado en incrementar la capacidad de respuesta de los sistemas de seguridad y vigilancia públicos mediante el desarrollo de un sistema de discriminación y seguimiento de drones utilizando cámaras de vídeo.

Justificación

Los sistemas de detección de objetivos como los radares se ven limitados debido a la reducida sección transversal (RCS) de los drones y por tanto su detección se ve imposibilitada a distancias reducidas (menores a 1 km) por la zona ciega del radar. Por otro lado, los principales problemas que se presentan a la hora de usar sistemas ya existentes son: los altos costos de los sistemas, su alta reserva (Moya, 2012), muchas veces la falta de soporte técnico, así como también la deficiencia en la transferencia de tecnología por ser sistemas cerrados de producción.

Al contrario, los sistemas que se desarrollan en base a la investigación aplicada e ingeniería inversa pueden subsanar estos problemas con costos muy reducidos y con garantía de una transferencia de tecnología real dentro de todos los procesos de implementación.

Por lo tanto, el seguimiento basado en la detección y discriminación de objetivos utilizando procesamiento digital de imágenes superan estas dificultades mediante el uso de diferentes estrategias de tracking, dando como resultado mejores herramientas de detección y seguimiento que son parte intrínseca y propietaria de un sistema general de vigilancia y seguridad.

La inexistencia de los sistemas de detección, seguimiento y protección de drones podría generar riesgos para la seguridad de la sociedad, así como pérdidas económicas en el mediano y largo plazo.

Por consiguiente, este proyecto de investigación se encuentra enfocado en el desarrollo de un prototipo de discriminación y seguimiento de drones utilizando cámaras de vídeo y algoritmos de procesamiento digital de imágenes secuenciales para ser utilizado por sistemas públicos y de vigilancia, con tecnología desarrollada en el país.

Alcance del proyecto

El proyecto en mención busca implementar un prototipo eficaz y eficiente para la detección y seguimiento de drones utilizando cámaras de vídeo disponibles en el Centro de Investigación de Aplicaciones Militares (CICTE), de manera que el sistema posea la capacidad automática o semiautomática de reconocer y elegir un objetivo dentro de los diferentes campos visuales que podrían existir, para ello se utiliza una cámara de vídeo disponible con una resolución de 650TVL y un drone Parrot Bebop 2, el más pequeño que se pudo encontrar .

Las imágenes capturadas son procesadas por el algoritmo propuesto y escrito en lenguaje C++, además de utilizar la biblioteca de código abierto para visión por computadora OpenCV, la cual es eficiente para proyectos de investigación que emplea visión artificial de modo que permite detectar al drone en tiempo real, el mismo que puede ser implementado en sistemas de vigilancia y seguridad públicos.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un prototipo de un sistema de discriminación y seguimiento de drones mediante el uso de cámaras de vídeo.

Objetivos Específicos

Realizar el diagnóstico de las diversas cámaras de vídeo existentes en el CICTE.

Desarrollar el prototipo de un sistema OEM de detección de drones utilizando las cámaras de vídeo disponibles.

Reducir costos computacionales relacionados con la obtención de la información.

Implementar los algoritmos de detección y seguimiento de drones en los diferentes escenarios de trabajo, utilizando librerías Open Source.

Evaluar el desempeño del sistema prototipo mediante las respectivas pruebas de campo.

Resumen de contenidos

El proyecto de investigación realizado, está formado por cinco capítulos organizados de la siguiente manera.

El contenido del primer capítulo está compuesto por la introducción, justificación, alcance y objetivos.

El segundo capítulo está formado por el marco teórico referente a la normativa vigente de drones en el país, tipos de drones y características en común, algoritmos de detección y monitoreo, finalmente el capítulo realiza la descripción de la librería OpenCV, plataformas y lenguajes de programación que usa.

El tercer capítulo establece las condiciones para el diseño y elaboración del sistema prototipo de discriminación y seguimiento de drones mediante cámaras de video.

En el cuarto capítulo se describen las pruebas realizadas, además se presentan los resultados del respectivo algoritmo descrito en el tercer capítulo.

Por último, en el capítulo cinco se encuentran las conclusiones y recomendaciones que se pudieron constatar durante el análisis de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas durante el desarrollo del proyecto, finalmente se mencionan posibles trabajos futuros a desarrollar a partir de este trabajo de investigación.

CAPÍTULO II

Marco Teórico

Definición de Drone

A pesar de existir una variedad de definiciones en el año 2012 John Villaseñor profesor de ingeniería eléctrica, derecho, políticas públicas y administración en UCLA dijo que los drones son aeronaves que carecen de tripulación y que vuelan de manera autónoma, sin la necesidad de presencia humana. Siendo una definición curiosa ya que el concepto de drone de manera jurídica y técnica no es tan simple (Callegari & Goberna, 2015).

Dicho de otro modo, el drone se lo puede definir básicamente como un tipo de vehículo aéreo no tripulado, que es controlado de manera remota; en principio se lo aludía a aplicaciones estrictamente militares, pero con el tiempo ya se lo utiliza de manera civil (Universidad Blas Pascal, 2020).

En cuanto a la variedad de drones destinados para diversas aplicaciones en la actualidad, se puede encontrar en el mercado gran variedad, siendo algo esencial poder conocer las características necesarias, debido a esto, no existe un criterio de clasificación única, sino más bien, existen varias clasificaciones que van a depender de su tamaño, precisión, diseño o aplicación (Carrillo Villalobos y otros, 2019).

Legalidad y normativa en el Ecuador

Es importante tomar en cuenta que al contrario de lo que pasa en el campo militar, el manejo y uso de drones para personas civiles debe tomar en cuenta varios ítems ya que la posibilidad de ser utilizados en actividades ilícitas en lugares públicos o privados es alta, sobre todo si se desconoce la normativa correspondiente.

La Dirección General de Aviación Civil fue la entidad que emitió el Reglamento de Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs) o comúnmente denominados drones, fue expedida el 4 de noviembre de 2020, cabe resaltar que este documento es destinado para drones cuyo peso máximo al momento de despegar es superior a 0,25 kilogramos e inferior o igual a 150 kilogramos (Dirección General de Aviación Civil, 2020).

Figura 1.

Instalaciones de la Dirección General de Aviación Civil



Nota. Pilotaje de drone. Adaptado de (Dirección General de Aviación Civil, 2020).

En el documento se explica que los drones no pueden ser operados en la proximidad de aeródromos, zonas militares, zonas de seguridad del estado, pistas de aterrizaje y despegue de aeronaves, entre otras (Dirección General de Aviación Civil, 2020).

En relación a los espacios aéreos que tienen control, un drone puede aproximarse a una distancia mínima de 9 kilómetros, además con respecto a la altura

de vuelo el reglamento establece que es de 122 metros (400 pies), siendo horas permitidas para volar aquellas que estén en condiciones meteorológicas adecuadas para ser visibles (Dirección General de Aviación Civil, 2020).

De hecho, los dueños de los drones deberán con carácter obligatorio registrar los mismos, además de contratar un seguro para solventar los posibles daños que sean causados a terceras personas como consecuencia de sus acciones de su vuelo. Este precio va a depender del peso máximo al momento de despegue, la Tabla 1 resume a continuación esta información (Dirección General de Aviación Civil, 2020).

Tabla 1.

Precio de los seguros contra daño a terceros

Peso máximo al momento de despegue	Precio
De 0,25 kg hasta 25 kg	\$ 3.000,00
De más de 25 kg hasta 50 kg	\$ 6.000,00
De más de 50 kg hasta 150 kg	\$ 12.000,00

Nota. Esta tabla dice el precio a pagar por daños ocasionados a terceras personas como consecuencia de alguna mala acción. Adaptado de (Dirección General de Aviación Civil, 2020).

Con respecto a la responsabilidad de operación, el documento expresa que cada operador será el responsable de su vuelo, no se podrá comenzar o proseguir con un vuelo si el drone no se encuentra en condiciones (Dirección General de Aviación Civil, 2020).

Otro de los componentes importantes es la integridad fisiológica de cada operador, donde no se podrá manejar si el operador se encuentra excesivamente cansado, si se encuentra bajo los efectos de alguna sustancia ilícita o si tiene una condición física o mental que podría interferir con esta función (Dirección General de Aviación Civil, 2020).

Tipos de Drones

Si bien anteriormente se mencionó que no existe como tal una clasificación única de drones, lo que se puede mencionar son los tipos de drones existentes en el mercado a lo largo de los años y que fueron o son utilizados en distintas actividades en de manera profesional.

De esta manera los primeros drones básicamente se los puede definir como aviones controlados de manera remota utilizando motores a gasolina, fueron llamados Easystar y fueron desarrollados por la empresa Multiplex, como lo muestra la Figura 2. (Mora, 2020).

Figura 2.

Drone Easystar

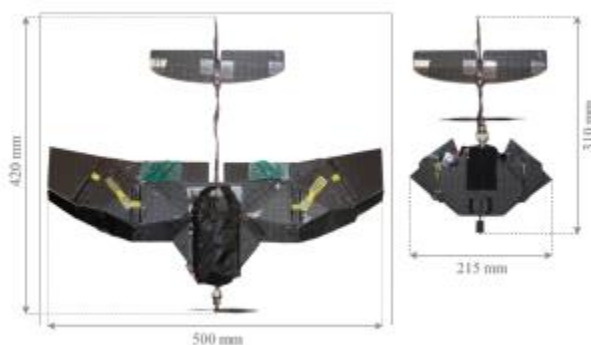


Nota. Drone Easystar blanco. Adaptado de (Fráter et al., 2015).

Los próximos drones en aparecer se les denominó Wings, termino en inglés que significa alas y que evidentemente era un rasgo característico de su diseño, con respecto a los Easystar eran bastante más rápidos y podían permanecer más tiempo en el aire como se evidencia la Figura 3, la gran desventaja era su limitación al momento del movimiento autónomo, lo que en su momento dificultó manejarlo de una mejor manera (Mora, 2020).

Figura 3.

Drone Wings



Nota. Drone Wings. Adaptado de (Dufour et al., 2016)

Si bien es cierto, los primeros drones fueron quienes utilizaron combustible, con el paso del tiempo y casi hasta la actualidad, con la ayuda de la tecnología los siguientes drones en aparecer fueron los multirrotores o multicópteros que fueron llamados así debido a que se pudo compactar varios motores con sus hélices en un solo cuerpo logrando una mejor estabilidad, siendo este un avance significado a la hora de operar estas aeronaves (Mora, 2020), en la Figura 4, se puede notar su diseño.

Figura 4.*Drone Multicópteros*

Nota. Drone Multicóptero. Tomado de (Chiang Sánchez & Nieto Espinoza, 2015)

Se caracterizan por tener movimiento independiente desplazándose tanto en los ejes vertical, horizontal, transversal y longitudinal, existiendo varios tipos como los cuadricópteros, hexacópteros y octocópteros que dependiendo de sus características de funcionamiento se escogerá uno u otro (Mora, 2020).

En las Figuras 5 y 6 se muestran los diseños de un drone hexacoptero y octocóptero respectivamente.

Figura 5.*Drone Hexacóptero*

Nota. Drone Hexacóptero. Adaptado de (Mora, 2020)

Figura 6.*Drone Octocóptero*

Nota. Drone Octocóptero. Tomado de (Mora, 2020)

Ventajas de la detección de drones

(Beltrán & Universidad Politécnica Salesiana, 2018), Describe las principales ventajas que presenta tener un sistema de detección de drones, las cuales se enlistan a continuación:

- Dependiendo del tipo de sistema de detección, el alcance puede ser muy alto (hasta 5 km).
- Se puede interceptar los drones que funcionan perfectamente ocultos en edificaciones, árboles, zonas industriales.
- Dependiendo del sistema se puede conseguir alta precisión en el seguimiento.
- Escaneo de 360 grados.
- Puede funcionar perfectamente en condiciones meteorológicas adversas, incluso en la noche o niebla.
- Prevención de hechos o situaciones peligrosas.

Algoritmos o métodos de seguimiento (tracking)

Los algoritmos o métodos de seguimiento se los puede definir de manera simple como un procedimiento de estimación de un único elemento o múltiples objetivos en movimiento mediante el uso de una cámara. Una de las técnicas más usadas hoy en día relacionado al seguimiento de objetos, es el concepto de tracking.

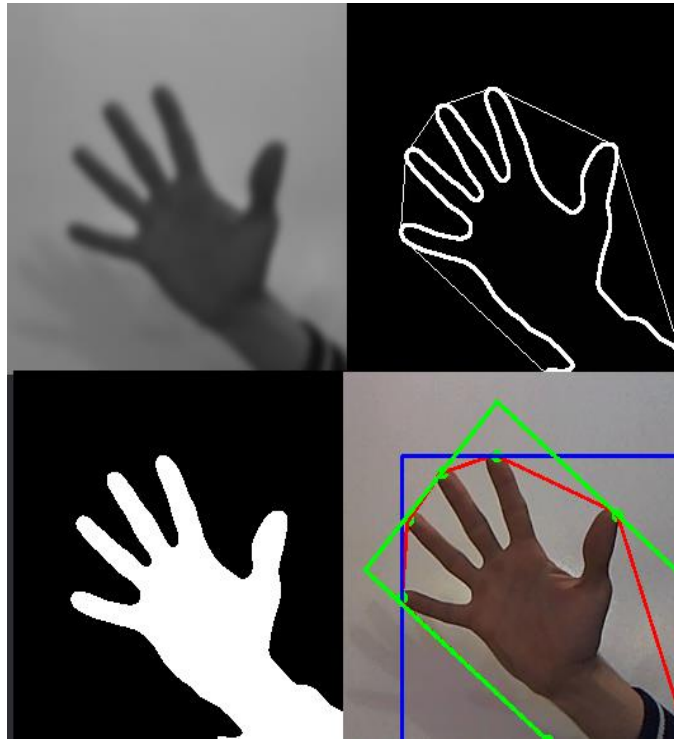
El tracking tiene por objetivo determinar de manera aproximada la posición de uno o varios elementos de importancia en una imagen o video y seguirlos a lo largo del tiempo (Bescós, 2016). Dependiendo la aplicación a desarrollar existen distintos tipos de tracking que se va a presentar a continuación:

Hand-Tracking

Tiene como finalidad principal la detección de las manos, basado en un sistema ya existente conocido como “Finger Tracking” o en español llamado seguimiento de dedos, conforme se ilustra en la Figura 7. Este método sitúa fragmentos que están compuestos por articulaciones, que a su vez unidos forman la mano, por lo que es posible realizarlo mediante cálculo de áreas convexas (ISOIN - Ingeniería y Soluciones Informáticas, 2016).

Figura 7.

Localización de mano mediante cálculo de áreas convexas



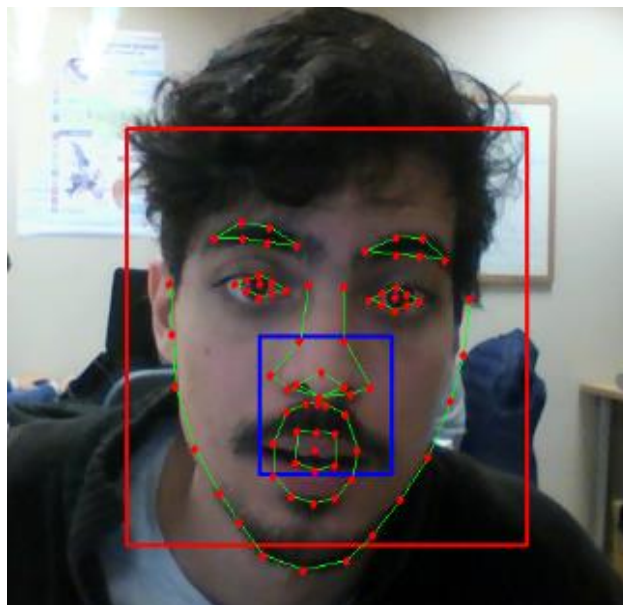
Nota. Hand-Tracking. Tomado de (ISOIN - Ingeniería y Soluciones Informáticas, 2016)

Face-Tracking

Para la detección del rostro, los algoritmos de seguimiento ponen énfasis en una parte de la cara, así es como el face tracking de manera general en primer lugar estima una posible región óptica poniendo a prueba las imágenes en escala de grises y tratando de encontrar simetrías, además de probar diferentes posibles regiones faciales, tales como el mentón, cejas, pómulos, las fosas nasales e incluso los labios (ISOIN - Ingeniería y Soluciones Informáticas, 2016), que se ilustra en la Figura 8.

Figura 8.

Localización de los puntos faciales



Nota. Face-Tracking. Tomado de (ISOIN - Ingeniería y Soluciones Informáticas, 2016)

Object-Tracking

El algoritmo Object tracking se basa en el seguimiento de cualquier elemento que aparezca en una imagen. Para realizar con éxito la labor de control, posicionamiento y gestión se puede utilizar como único recurso una cámara de vídeo.

Así pues, hay tres partes fundamentales: detección de movimiento, seguimiento cuadro a cuadro y análisis de objetos después del reconocimiento (ISOIN - Ingeniería y Soluciones Informáticas, 2016).

En fin, estos métodos de seguimiento suelen ser menos complicados computacionalmente que los sistemas de detección a gran escala. Es por ello que una de las herramientas que ayudará a aplicarlos de mejor manera es la biblioteca Open Computer Vision o mejor conocida como OpenCV.

Librería OpenCV

Según la página oficial, OpenCV es una biblioteca de visión por computadora de código abierto que posee licencia Berkeley Software Distribution (BSD) e incluye cientos de algoritmos de visión por computadora que permite ser usada libremente en distintos proyectos con propósitos comerciales y de investigación (OpenCV, 2017).

OpenCV es una multiplataforma que puede ser utilizada tanto para imágenes fijas o en movimiento. Las librerías pueden ser instaladas en los sistemas operativos tales como Linux, Windows y Mac Os X. (Busquets, 2018).

OpenCV tiene un buen rendimiento bajo procesadores Intel, pero puede ser utilizada en cualquier otro tipo de procesadores, además puede tomar ventaja de procesadores multinúcleo. De este modo OpenCV cuenta con una excelente eficiencia computacional y un buen rendimiento en aplicaciones de tiempo real, es decir que se puede utilizar en entornos de vigilancia y seguimiento de objetos (Bradski & Kaebler, Computer Vision with the OpenCV Library, 2008).

Dentro de este marco, OpenCV es una API con más de 500 funciones escritas en lenguaje C/C++ que permite ver y detectar objetos de interés. A continuación, las características (Sailema Chicaiza, 2017):

- Uso libre para el ámbito comercial como no comercial.
- No utiliza bibliotecas numéricas externas, aunque puede hacer uso de algunas de ellas, si están disponibles, en tiempo de ejecución.
- Compatible con Intel Processing Library (IPL) y utiliza Intel Integrated Performance Primitives (IPP) para mejorar su rendimiento.

Ventajas y desventajas de OpenCV

Ventajas

- OpenCV se encuentra disponible para cualquier proyecto y no tiene costo.
- La biblioteca de OpenCV está escrita en lenguaje C/C++, lo que la hace bastante rápida.
- Mayor portabilidad, OpenCV puede ejecutarse en cualquier dispositivo que pueda ejecutar lenguaje C.
- OpenCV posee más de 500 funciones de procesamiento de imágenes disponibles.
- OpenCV tiene la capacidad de capturar y procesar video en tiempo real desde cualquier cámara u otras fuentes.

Desventajas

- Mayor complejidad de uso en comparación de otros programas que realizan procesamiento de imágenes como Matlab®.
- OpenCV tiene su propia biblioteca Flann (Fast Library for Approximate Nearest Neighbors), es decir que causa problemas de conflicto cuando se requiere utilizar la biblioteca de OpenCV con la biblioteca PCL.
- OpenCV ocupa mayor procesamiento, en consecuencia, los procesos se ejecutan en un solo núcleo a menos que se utilicen técnicas para paralelizar.

Módulos de OpenCV

Los módulos de OpenCV para el procesamiento de imágenes y vídeo se detallan a continuación:

- Core: Este módulo incluye las estructuras de datos y funciones básicas para el procesamiento de imágenes, de modo que se usa junto al módulo highgui.
- Highgui: Este módulo permite crear la interfaz de usuario, tal es el caso de códecs de vídeo, captura de imagen entre otros.
- Imgproc: Posee los algoritmos para el procesamiento de imágenes, filtros, etc.
- Video: Este módulo permite el análisis de videos mediante algoritmos de seguimiento y detección de objetos.
- Objdetect: Incluye algoritmos de detección y reconocimiento de objetos.

Estructura de OpenCV

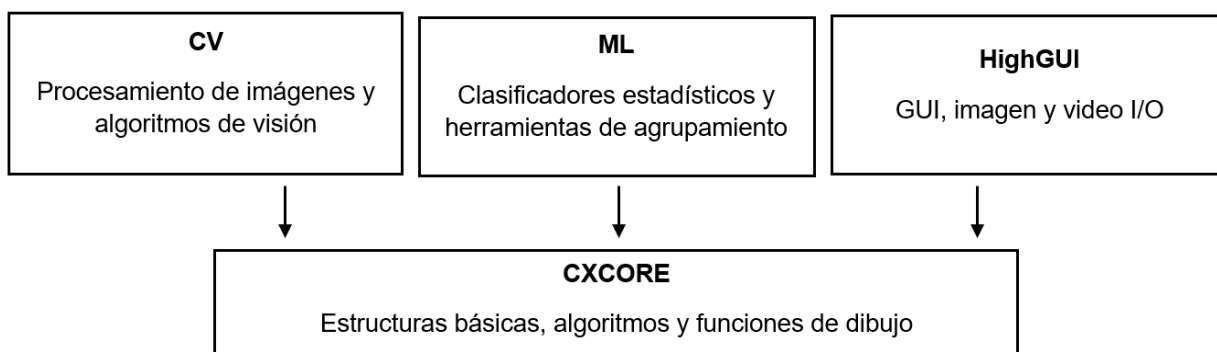
En general la estructura de OpenCV conforma cinco componentes. El componente CXCORE, CV, ML, HighGUI y CVCAM que contienen funciones y rutinas de I/O que almacenan y procesan videos e imágenes (Bradski & Kaehler, 2008), como se observa en la Figura 9.

- CXCORE: Contiene estructuras de datos, álgebra matricial, transformaciones de datos, persistencia de objetos, gestión de memoria, manejo de errores y carga dinámica de código, así como dibujo, texto y matemáticas básicas.

- CV: Contiene procesamiento de imagen, análisis de la estructura de imagen, movimiento, seguimiento, patrón de reconocimiento y calibración de la cámara.
- Machine Learning (ML): Contiene las funciones de agrupación, clasificación y análisis de datos.
- HighGUI: Contiene la GUI de interfaz de usuario, almacenamiento y recuperación de imágenes y vídeos.
- CVCAM: Contiene todo lo relacionado a la interfaz de cámara.

Figura 9.

Estructura de OpenCV



Nota. Adaptado de (Bradski & Kaebler, 2008)

Microsoft Visual Studio 2019

Visual Studio es un software con tecnologías basado en componentes para crear programas y aplicaciones web de alto rendimiento, entre los principales lenguajes que utiliza se encuentran: C/C++, Visual Basic, Python y PHP (Busquets, 2018).

Lenguaje de programación

Un lenguaje es un sistema de comunicación entre dos personas. Ahora los dispositivos electrónicos no tienen la posibilidad de comprender el mismo lenguaje de los individuos, por consiguiente, hay idiomas de programación de computadoras en especial desarrollados para transmitir datos e instrucciones a la computadora y ejecutar un trabajo específico (Usman & Akeem, 2016).

Los idiomas de programación son idiomas de notación artificiales desarrollados para ser usados en la construcción de normas codificadas en la computadora para su ejecución. Cada lenguaje de programación es eficaz con su propio traductor denominado intérprete o compilador (Usman & Akeem, 2016).

Lenguaje C++

C++ es un lenguaje de programación de alto nivel que posibilita a un ingeniero de programación comunicarse eficientemente con la computadora. La iniciativa es permitir que el programador organice un programa de una forma que logre comprender de forma sencilla y el compilador después traduce el programa a lenguaje de máquina. Los datos en una computadora se almacenan como una secuencia de bytes, debe señalarse que el principal objetivo del lenguaje C++ es ordenar las indicaciones en elementos reutilizables, en efecto se puede escribir programas mucho más rápido si reutiliza la mayor parte de su código de otro lugar. Los grupos de módulos reutilizables se pueden combinar en una biblioteca, en efecto, una de las principales innovaciones de C++ es la idea de combinar datos e instrucciones en una construcción llamada clase u objeto, por eso la programación orientada a objetos le permite agrupar datos con las operaciones que se pueden realizar en esos datos (Oualline, 1995).

En este capítulo se ha tratado el marco teórico con los conceptos fundamentales del tipo de drones y la normativa que rige en el país, además se menciona sobre los principales métodos de seguimiento y detección de objetos; para luego ingresar en la descripción de la librería OpenCV. Por lo tanto, la teoría expuesta en este capítulo es la base para realizar el sistema prototipo de discriminación y seguimiento de drones; en el siguiente capítulo se describen los materiales y métodos utilizados en el desarrollo del algoritmo.

CAPÍTULO III

Materiales y Métodos

Componentes del prototipo

El prototipo de discriminación y seguimiento de drones se encuentra conformado de cuatro partes. Las tres primeras forman el hardware: son un computador portátil, un dron Parrot Bebop 2 y una cámara de vídeo Super Night Vision Outdoor (EL-8000IR), además el cuarto elemento conformado por el software programado en C++ con las librerías de OpenCV.

Hardware del sistema

El hardware utilizado en la implementación del algoritmo es un computador portátil con los suficientes recursos computacionales para realizar el seguimiento y discriminación de drones en tiempo real. En la Tabla 2 se detalla las características del equipo.

Tabla 2.

Descripción de los recursos del equipo

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Marca	ASUS
Modelo	X550JX
Procesador	Intel(R) Core(TM) i7-4720HQ CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz
Tipo de sistema	Sistema operativo de 64 bits, procesador x64
Memoria RAM	8 GB
Tarjeta gráfica	GeForce GTX 950M

Nota. Descripción de las características principales del hardware utilizado para el sistema de detección y seguimiento de drones

Drone Parrot Bebop 2

El drone Bebop 2 de la marca Parrot (ver Figura 10) uno de los más pequeños, se utiliza en este trabajo con el objetivo de realizar las pruebas necesarias del algoritmo propuesto y evaluar la detección y seguimiento del mismo, además posee las características necesarias de cualquier otro drone que sobrevuela un espacio aéreo determinado y que requiera ser identificado a continuación, en la Tabla 3 se detallan las características del drone.

Tabla 3.

Descripción de las características del drone Parrot Bebop 2

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Sistemas de rotores	Cuatro rotores, tres hojas por cada hélice, las hélices son de plástico flexible y resistentes
Velocidad máxima horizontal	18m/s, tarda aproximadamente 14 segundos en conseguir su máxima velocidad
Velocidad de ascenso máxima	6m/s, en condiciones adecuadas llega a una altura máxima de 100 metros en 20 segundos
Alcance de la señal	300 metros
Autonomía	Batería de 2700 mAh Li-ion que proporciona una autonomía de 20 minutos aproximadamente
Cámara	Cámara de 14 megapíxeles, graba vídeo en formato 1080p a 30 imágenes por segundo
Métodos de control	Teléfono móvil (iOS/Android) y mando SkyController

Vuelo autónomo	Cierta autonomía con la aplicación
Peso y dimensiones	33 x 30 x 10 centímetros, pesa 692 gramos
Memoria	8 GB de memoria interna
Motores	4 motores de jaula giratoria sin escobillas, máximo 12000 rpm
Sensores	GPS + IMU

Nota. Descripciones drone Bebop 2 Parrot. Tomado de (*Parrot Bebop 2 Drone*, 2020)

Figura 10.

Drone Bebop 2 Parrot



Nota. Drone utilizado en el trabajo de investigación. Tomado de (*Parrot Bebop 2 Drone*, 2020).

Conectividad con el drone

El control de vuelo y conexión del drone se puede realizar de tres maneras, en efecto todas utilizan conexión inalámbrica Wi-Fi que genera el drone Parrot Bebop 2 (Tabla 4).

- El control de vuelo se puede realizar mediante la aplicación gratuita *Freeflight* de la empresa Parrot que puede ser instalada en un dispositivo móvil con sistema operativo Android o iOS, el rango de alcance máximo es de 300 metros con línea de vista.
- El siguiente método es mediante el control remoto Parrot Skycontroller 2, que gracias a su antena interna permite tener un alcance máximo de 2 km con línea de vista.
- Para finalizar el último método, consiste en la utilización del driver *bebop_autonomy*, que permite un alcance dependiendo de las características de la antena que se instale en la estación base.

Conexión inalámbrica

Tabla 4.

Características de conexión inalámbrica

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Tipo de conexión inalámbrica	Wi - Fi IEEE 802.11 a/b/g/n/ac
Antenas Wi-Fi	Dipolares de 2.4 y 5 GHz
Rango de la señal	300 metros con dispositivo móvil 2 Km con control remoto Parrot Skycontroller 2
Network	MIMO Dual band

Nota. Características y protocolos de conexión del drone Parrot Bebop 2. Tomado de (Parrot Bebop 2 Drone, 2020).

Características de la cámara

La cámara del dron Parrot Bebop 2 transmite vídeo en tiempo real al terminal que se encuentre conectado, además el campo de visión es de 180° en todas las direcciones (Tabla 5).

Tabla 5.

Características de la cámara del dron Parrot Bebop 2

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Cámara	14 megapíxeles con sensor CMOS
Estabilizador de vídeo	Sistema digital de 3 ejes
Resolución de vídeo	1920 x 1080p a (24, 25 o 30 fps)
Resolución de fotografía	4096 x 3072 píxeles
Codificación de vídeo	H264
Formato de fotografía	JPEG, RAW, DNG

Nota. Características principales de la cámara incorporada en el dron Parrot Bebop 2. Tomado de (Parrot S.A., 2020).

Características de movimiento

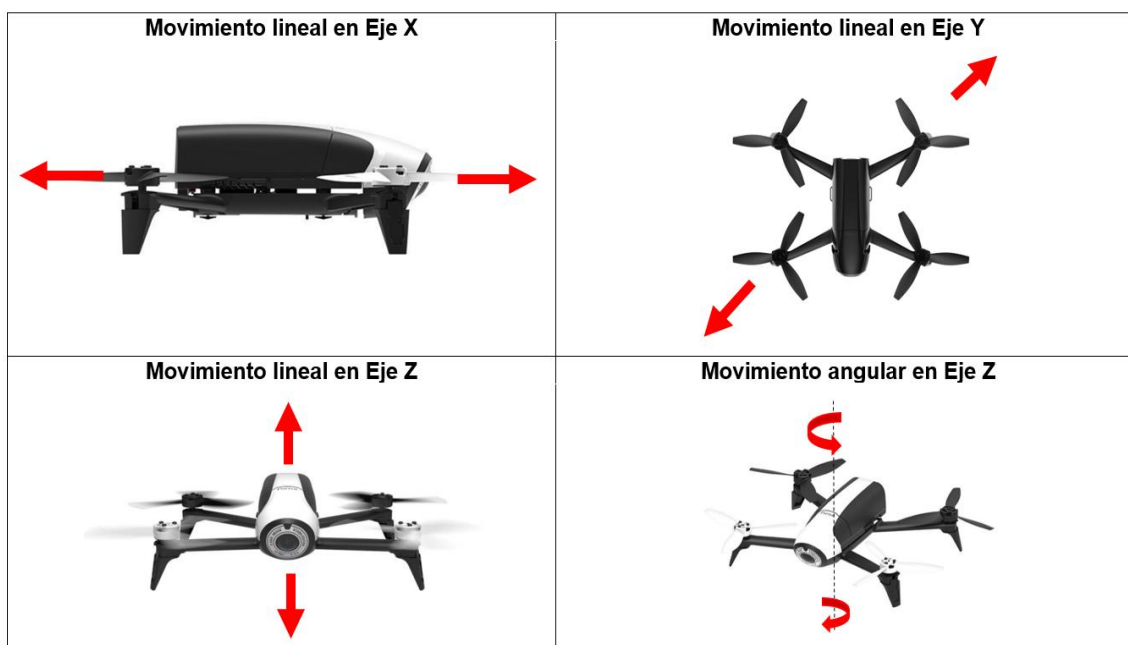
Un vehículo aéreo no tripulado o cuadricóptero posee seis grados de libertad, tres movimientos de traslación y tres movimientos de rotación. Los movimientos de traslación permiten desplazar al dron en línea recta o sobre el eje X, de izquierda a derecha o sobre el eje Y, por último, de arriba hacia abajo o sobre el eje Z. Los

movimientos de rotación permiten al dron rotar alrededor del eje X (Pitch), eje Y (Roll) y eje Z (Yaw), hay que hacer notar que el dron Parrot Bebop 2, permite controlar cuatro grados de libertad.

En resumen, el dron Parrot Bebop 2 permite tres movimientos lineales de traslación y uno angular en el eje Z (ver Figura 11).

Figura 11.

Movimiento lineal y angular del dron Parrot Bebop 2



Nota. Movimientos de un vehículo aéreo no tripulado, lineales y angulares sobre el plano. Adaptado de (*Parrot Bebop 2 Drone*, 2020)

Cámara EL-8000IR

El dispositivo que realiza la captura en tiempo real del dron es una cámara Super Night Vision Outdoor (EL-8000IR) y por el momento única disponible en el CICTE. En la Tabla 6 se detallan las principales características de la cámara.

Tabla 6.*Características cámara Super Night Vision Outdoor (EL-8000IR)*

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Resolución	650TVL en el día - 700TVL en la noche
Sensitivity	0 Lux
Imagen	Full color en el día - B/N en la noche
Estándar	RS - 485
Clasificación IP	IP66
Distancia máxima	Día 120 metros - Noche 70 metros
Zoom	1.5x - 37x

Nota. Descripción de las características principales de la cámara Super Night Vision Outdoor (EL-8000IR).

Aplicación FreeFlight Pro

Es una aplicación gratuita creada y desarrollada por la empresa Parrot, esta interfaz será la encargada de acceder a la configuración de vuelo y pilotaje del dron.

La aplicación es compatible con los siguientes drones:

- Drone Parrot Bebop en su versión v3.3.0 y posteriores.
- Drone Parrot Bebop 2 en su versión v3.9.0 y siguientes.
- Drone Parrot Disco v1.0.5 y versiones más actuales.

Debe señalarse que la aplicación es instalada en un Smartphone siendo compatible con versiones Android 4.3, iOS 8 y en ambos sistemas con versiones posteriores.

Por lo tanto, la aplicación sirve para personalizar las habilidades en el manejo de drones. Entre sus principales características ayuda hacer fotos y vídeos en alta definición, además adapta el balance de blancos, la exposición y la frecuencia de rastreo.

Driver Honestech VHS to DVD 3.0 SE

Es un driver que permite la captura y edición de vídeo desde cámaras HDV, reproductores de DVD, VCRs, televisiones, etc. Honestech VHS to DVD 3.0 auto detecta a la cámara EL-8000IR, como consecuencia se procesa en tiempo real el video capturado. La versión más usada es la 3.0 siendo Honest Technology la empresa que desarrolló este software.

Características del driver Honestech VHS a DVD 3.0

Entre las características principales se puede mencionar las siguientes:

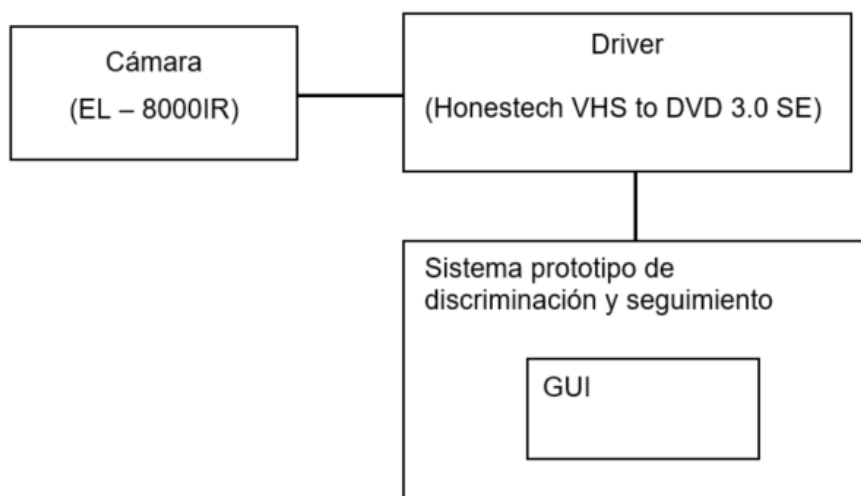
- Interfaz muy sencilla de manipular.
- Es compatible con Windows, Linux y Mac; en todos los casos puede ser un sistema de 32 o 64 bits.
- Permite la conversión de varios formatos digitales.
- Es un software de uso libre.
- Tiene la facultad de grabar vídeo o audio de su sistema de reproducción a DVD o Blu-ray.

Sistema prototipo de discriminación y seguimiento

El sistema prototipo de discriminación y seguimiento se implementa con una arquitectura sencilla de cliente servidor, por consiguiente, el sistema cuenta con una cámara que permite capturar vídeo en tiempo real, el driver Honestech VHS to DVD 3.0 procesa el video para ser utilizado en la computadora, conforme se ilustra en la Figura 12.

Figura 12.

Arquitectura del sistema



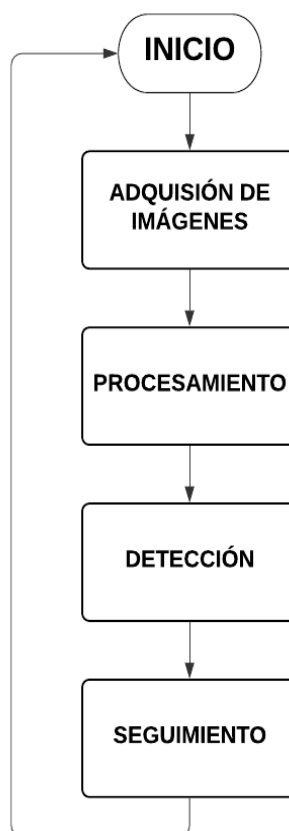
Nota. Arquitectura cliente servidor para el sistema prototipo de discriminación y seguimiento.

El driver *Honestech VHS to DVD 3.0 SE*, permite que el vídeo capturado por la cámara se pueda procesar en la computadora mediante la función *Mat* de OpenCv, como consecuencia las imágenes son representadas como una matriz dentro del algoritmo (ver Figura 13), como resultado las imágenes captadas por la cámara se pueden visualizar en la GUI implementada en el software Visual Studio.

Algoritmo de detección y seguimiento

Figura 13.

Diagrama de flujo



Nota. Diagrama de flujo de los principales algoritmos desarrollados para la detección y seguimiento de Drones.

En la etapa de adquisición de datos se toma una imagen del vídeo captado por la cámara (EL-8000IR), de este modo la etapa de procesamiento someterá a la imagen a modificaciones en el color, por consiguiente, la aplicación de filtros puede realizar funciones lógicas entre las imágenes originales y las máscaras obtenidas anteriormente, con el fin de separar el fondo del objeto de interés.

Para finalizar, las etapas de detección y seguimiento marcan el contorno del dron siguiendo la trayectoria de vuelo, la condición es que el dron se encuentre dentro del campo de visión de la cámara.

Funciones de OpenCV aplicadas en el algoritmo

A continuación, se explican las funciones más importantes de OpenCV que se emplearon para el funcionamiento del algoritmo.

- `cap.read(frame);`

Esta función permite capturar la transmisión en video de la cámara que se encuentre conectada al computador y almacenarla en la variable que se especifique.

- `cvtColor(frame, gray, COLOR_BGR2GRAY);`

El parámetro `COLOR_BGR2GRAY` permite cambiar el color original del video a escala de grises y guardarlo en una nueva variable. Este paso es muy importante para el umbral dado que prepara el flujo de imágenes para los pasos posteriores, este paso aporta para que el algoritmo detecte un contorno de forma correcta.

- `GaussianBlur(gray, gray, Size(21, 21), 0);`

Esta función es un filtro gaussiano, a fin de eliminar el ruido gaussiano de una imagen.

- `absdiff(firstFrame, gray, frameDelta);`

Esta función calcula la diferencia entre el cuadro anterior y el cuadro actual.

- `threshold(frameDelta, thresh, 20, 255, THRESH_BINARY);`

La función `threshold` permite aplicar el método de segmentación para separar regiones de una imagen, es decir que varía la intensidad de los píxeles de la imagen de interés de los píxeles del fondo de dicha imagen, se aplica un umbral de nivel fijo a cada elemento de la matriz que almacena la imagen capturada.

Los valores que pueden tomar los píxeles van desde 0 (negro) a 255 (blanco). Los píxeles que toman el valor de 0 se consideran píxeles de fondo y se los ignora.

- `blur(thresh, thresh, Size(10, 10));`

Esta función permite implementar un filtro normalizado, los parámetros `thresh` indican la imagen de origen y destino respectivamente, en cuanto a `Size` define el tamaño en píxeles del kernel a utilizar (`w` ancho, `h` alto).

- `findContours(temp, contornos, hierarchy, RETR_EXTERNAL, CHAIN_APPROX_TC89_KCOS);`

Como se ha notado, las funciones descritas hasta ahora se las utiliza para realizar la captura, el filtrado, segmentación y color a la imagen, ahora bien, la función `findContours` busca bordes y píxeles de intensidad similar para recuperar los contornos de dicha imagen. El parámetro `temp` corresponde a la imagen resultante de aplicar las funciones antes mencionadas, el siguiente parámetro `contornos` indica que se que almacenarán los contornos en un vector que puede variar su tamaño de forma automática, el parámetro `hierarchy` que define el método de aproximación del contorno, el último parámetro `CHAIN_APPROX_TC89_KCOS` hace referencia al método que identifica todos los puntos del contorno.

Para obtener los centroides de los contornos se emplea el siguiente código:

```

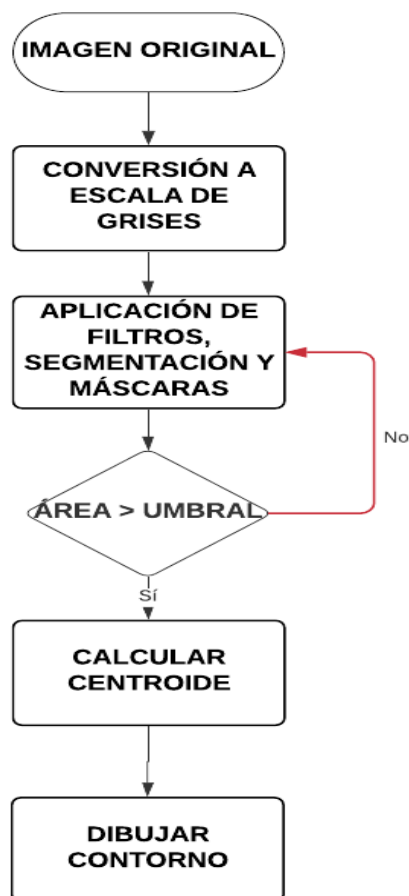
for (int i = 0; i < contornos.size(); i++)
{
    momento_contorno[i] = moments(contornos[i], false);
    centro_masa[i] = Point((int)(momento_contorno[i].m10 /
momento_contorno[i].m00), (int)(momento_contorno[i].m01 / momento_contorno[i].m00));
}
if (contornos.size() > 0)
    objectDetected = true;
else
    objectDetected = false;
if (objectDetected)
{
    double xpos = 0;
    double ypos = 0;
    for (int i = 0; i < contornos.size(); i++)
    {
        xpos += centro_masa[i].x;
        ypos += centro_masa[i].y;
    }
    if (!(abs(xpos) > CAM_RES_X || abs(ypos) > CAM_RES_Y))
    {
        target.x = (int)(xpos / contornos.size()), target.y = (int)(ypos /
contornos.size());
    }
    cout << target << endl;
}
samplePoints.push_back(target);
drawContours(ImagDetected, contornos, -1, Scalar(0, 0, 255), 3);

```

En resumen, las funciones previamente mencionadas son las más relevantes al momento de emplear la técnica de detección por segmentación. La figura 14 muestra el diagrama de flujo implementado en el algoritmo.

Figura 14.

Diagrama de flujo técnica de detección por segmentación



Nota. Diagrama de flujo del algoritmo de discriminación y seguimiento.

Aplicación de la librería OpenCV

Uno de los componentes en el ámbito académico más usados es Matlab y cuenta con varios elementos de apoyo a nivel universitario. Matlab cuenta con un toolbox denominado Image Processing Toolbox que permite subir imágenes en algunos formatos, para posteriormente poder verlas y manejarlas como matrices numéricas (Arévalo et al., 2004), sin embargo, no posee varias de las características relevantes con respecto a los algoritmos de seguimiento visual.

Cabe recalcar, que los máximos inconvenientes que se presentan a la hora de usar estos sistemas ya existentes en el campo profesional con este tipo de aplicaciones son: esencialmente los precios altos y de alta infraestructura.

Como se mencionó en capítulos anteriores, la librería OpenCV (Open Computer Vision Library), cuenta con varias de estas herramientas relacionadas con estos algoritmos o de seguimiento visual.

Dependiendo del uso de los algoritmos, se ha verificado que suelen tener una manera diferente de detectar un cambio de algún objeto a lo largo del tiempo, además de hacer valer la información sobre las trayectorias de movimiento de objetos y así delimitar mejor una región para buscar.

Es decir, tienden a tener una complejidad computacional menor, que es lo que se busca y a tener mejor enfoque en la detección cuando se la traslada a gran escala (Chasillacta, 2020), y que con OpenCV se puede llevar a cabo estos procesos de mejor manera. Debe señalarse que otra de las ventajas que tiene OpenCV es el uso del lenguaje C++, que es un lenguaje que se ha venido desarrollando a lo largo de la carrera como estudiante.

En resumen, la aplicación de OpenCV en este proyecto se debe a un sinnúmero de librerías que permiten implementar aplicaciones de forma práctica, sin tener en cuenta algunas características de hardware que en otros casos no se deberían dejar de lado.

En este capítulo se ha resumido el método y las funciones de OpenCV utilizadas en el desarrollo del algoritmo de detección, además se menciona las características del drone Parrot Bebop 2, la cámara EL-8000IR y la aplicación FreeFlight Pro que se

utilizaron en la validación del algoritmo propuesto; en el siguiente capítulo se presenta los resultados obtenidos del funcionamiento del sistema prototipo de discriminación y seguimiento de drones mediante el uso cámaras de video.

CAPÍTULO IV

Análisis de resultados

La solución propuesta se desarrolló mediante la aplicación de la biblioteca de OpenCV 4.5.2 y el lenguaje de programación C++ implementado en la plataforma de programación Visual Studio 2019. Se instaló y configuró una sola cámara (EL-8000IR) para monitorear una zona determinada de modo que capture video para las distintas pruebas.

De esta manera, se realizaron las pruebas con el algoritmo desarrollado, en nueve intervalos de diez metros cada uno, se tomaron varias capturas de pantalla del drone, por tanto, se comprobó que está siendo detectado en cualquier punto dentro del campo de visión que pueda cubrir la cámara EL-8000IR.

Ahora bien, se debe señalar que la cámara EL-8000IR utiliza parámetro de zoom y enfoque manual, así pues, la cámara es ideal para aplicaciones de vigilancia al aire libre, sobre todo si se requiere mayor alcance. Cabe considerar, por otra parte, que los datos como distancia y altura se toman de la aplicación FreeFlight Pro, a fin de que se pueda tener una referencia de la distancia máxima a la que pueda ser detectado el drone.

Hay que mencionar como dato adicional que las pruebas se realizaron en la ciudad de Quito, los resultados son los siguientes:

Prueba No 1

Dentro de este marco, se puede decir que, para la primera prueba, y tomando el punto referencial o punto A como partida (una casa en la ciudad de Quito), lugar donde se ubicó la cámara y el punto B o de finalización que es el drone. La distancia entre

estos dos puntos es de aproximadamente 10 metros, en la Figura 15 se observa la detección del mismo y por lo tanto se verifica el funcionamiento correcto del prototipo.

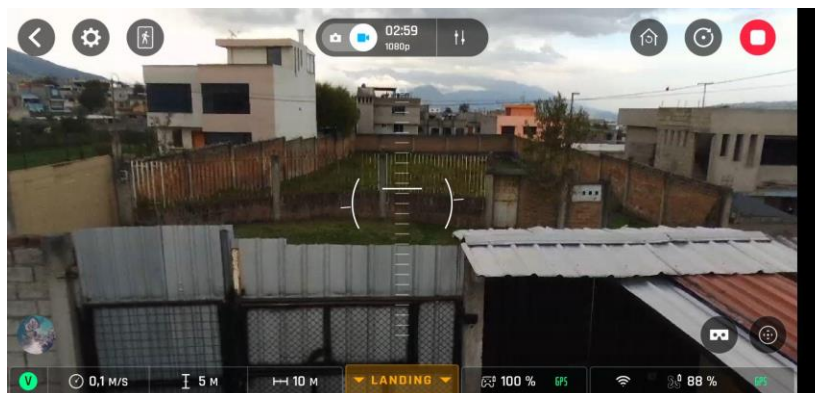
Figura 15.

Prueba No 1 del sistema prototipo

Punto A



Punto B



Nota. Imagen del drone a una distancia de 10 metros, el punto A muestra la detección del drone desde la computadora, el punto B indica la interfaz de la aplicación FreeFlight Pro con los datos de distancia a la que sobrevuela el drone con respecto al punto A.

Prueba No 2

En segundo lugar, se ubica al drone a una distancia de 20 metros del punto de observación, notándose la detección del drone y funcionamiento correcto del prototipo.

Figura 16.

Prueba No 2 del sistema prototipo

Punto A



Punto B



Nota. Imagen del drone a una distancia de 20 metros, el punto A muestra la detección del drone desde la computadora, el punto B indica la interfaz de la aplicación FreeFlight Pro con los datos de distancia a la que sobrevuela el drone con respecto al punto A.

Prueba No 3

Para la tercera prueba, se ubica al drone a una distancia de 30 metros del punto de observación, donde los resultados muestran la detección del drone, como resultado se evidencia un correcto funcionamiento del prototipo, como se puede observar en la Figura 17.

Figura 17.

Prueba No 3 del sistema prototipo

Punto A



Punto B



Nota. Imagen del drone a una distancia de 30 metros, el punto A muestra la detección del drone desde la computadora, el punto B indica la interfaz de la aplicación FreeFlight Pro con los datos de distancia a la que sobrevuela el drone con respecto al punto A.

Prueba No 4

De acuerdo a los resultados de la prueba cuatro, y tomando en cuenta que a partir de este punto se empieza a utilizar el zoom (x6) de la cámara de vídeo, como resultado aproximadamente la distancia establecida desde el punto de referencia hasta el drone es de 40 metros, en la Figura 18 se puede determinar la detección y seguimiento del drone y por lo tanto se comprueba el funcionamiento del prototipo.

Figura 18.

Prueba No 4 del sistema prototipo

Punto A



Punto B



Nota. Imagen del drone a una distancia de 40 metros, el punto A muestra la detección del drone desde la computadora, el punto B indica la interfaz de la aplicación FreeFlight Pro con los datos de distancia a la que sobrevuela el drone con respecto al punto A.

Prueba No 5

Con respecto a la quinta prueba el zoom se configura a (x13), se establece que alcanza una distancia desde el punto de referencia hasta el dron de 50 metros, por esta razón la detección y seguimiento del dron se la puede apreciar en la Figura 19, el zoom que se configura distorsiona la calidad de la imagen, por otra parte, se mantiene el funcionamiento del prototipo a dicha distancia.

Figura 19.

Prueba No 5 del sistema prototipo

Punto A



Punto B



Nota. Imagen del dron a una distancia de 50 metros, el punto A muestra la detección del dron desde la computadora, el punto B indica la interfaz de la aplicación FreeFlight Pro con los datos de distancia a la que sobrevuela el dron con respecto al punto A.

Prueba No 6

En relación al resultado que muestra la sexta prueba y con un zoom configurado de (x21), como en los anteriores casos teniendo en cuenta que aproximadamente la distancia establecida desde el punto de referencia hasta el dron es de 60 metros, la detección y seguimiento del dron se puede apreciar en la Figura 20, mostrando que es aceptable el funcionamiento del prototipo, pero se puede notar que varía la eficiencia del prototipo.

Figura 20.

Prueba No 6 del sistema prototipo

Punto A



Punto B



Nota. Imagen del dron a una distancia de 60 metros, el punto A muestra la detección del dron desde la computadora, el punto B indica la interfaz de la aplicación FreeFlight Pro con los datos de distancia a la que sobrevuela el dron con respecto al punto A.

Prueba No 7

En el análisis de la séptima prueba, se debe tomar en cuenta que la configuración del zoom es de (x25), como producto se alcanza una distancia entre el punto de referencia hasta el dron de 70 metros, como se puede apreciar en la Figura 21, el dron se encuentra muy alejado, siendo que el algoritmo mantiene la detección y seguimiento.

Figura 21.

Prueba No 7 del sistema prototipo

Punto A



Punto B



Nota. Imagen del dron a una distancia de 70 metros, el punto A muestra la detección del dron desde la computadora, el punto B indica la interfaz de la aplicación FreeFlight Pro con los datos de distancia a la que sobrevuela el dron con respecto al punto A.

Prueba No 8

Para obtener resultados a partir de este punto se puede variar el zoom entre x27 y el zoom máximo de la cámara EL-8000IR de x37, todo depende del operador y los resultados que requiera del sistema, por tanto, la distancia entre el punto de referencia hasta el drone es de 80 metros, como se observa en la Figura 22, se marca el borde del drone en las posiciones que sobrevuela.

Figura 22.

Prueba No 8 del sistema prototipo

Punto A



Punto B



Nota. Imagen del drone a una distancia de 80 metros, el punto A muestra la detección del drone desde la computadora, el punto B indica la interfaz de la aplicación FreeFlight Pro con los datos de distancia a la que sobrevuela el drone con respecto al punto A.

Prueba No 9

Finalmente, en lo que respecta a la novena prueba y con un zoom previamente configurado se llega a una distancia aproximadamente de 90 metros desde el punto de referencia hasta el dron.

En este escenario si bien el dron se lo llega a detectar, hay que recalcar que el algoritmo puede generar otras detecciones dependiendo de varios factores externos como por ejemplo el clima, posicionamiento y estabilidad de la cámara, donde si bien el dron va hacer detectado puede generar la detección de otros objetos (que podrían ser falsos positivos), viéndose afectada en cierto grado el rendimiento del prototipo.

Figura 23.

Prueba No 9 del sistema prototipo

Punto A



Punto B



Nota. Imagen del dron a una distancia de menor a 100 metros, el punto A muestra la detección del dron desde la computadora, el punto B indica la interfaz de la aplicación FreeFlight Pro con los datos de distancia a la que sobrevuela el dron con respecto al punto A.

Con respecto a las capturas antes mencionadas, la cámara se ubica apuntando a una sola dirección, hacia el espacio aéreo, al mismo tiempo hay que mencionar la desventaja que produce la sensibilidad del algoritmo, es que en determinados momentos éste detecta el movimiento de cualquier objeto y no solo del dron, por el contrario, al no existir un alto tráfico de vehículos aéreos no tripulados, evidentemente no influye en el objetivo planteado de detectar y dar seguimiento a un dron.

Uno de los componentes importantes, es mencionar que en las pruebas la distancia de detección está sujeta a la calidad de video y el zoom que la cámara pueda alcanzar (siendo mejor si la cámara tuviera mejores características), aunque esto no impide que el algoritmo funcione correctamente ya que las funciones que se usan sirven para realizar el procesamiento incluso si las imágenes no son nítidas.

Como se puede ver en la Tabla 7, se muestra un resumen de los resultados obtenidos en la validación del algoritmo desarrollado para la detección y seguimiento de drones utilizando la cámara de vídeo EL-8000IR.

Tabla 7.

Resultados de la validación del algoritmo

DISTANCIA	ZOOM	PERCEPCIÓN
10 metros	x0	Buena
20 metros	x0	Buena
30 metros	x4	Buena
40 metros	x6	Buena
50 metros	x13	Buena
60 metros	x21	Buena
70 metros	x25	Media
80 metros	x27 - x37	Media
90 metros	x27 - x37	Baja
> a 90 metros	x27 - x37	Baja

Nota. Descripción de las características principales de la cámara Super Night Vision Outdoor (EL-8000IR).

Validación final

Como instancia final, se realizó la validación del algoritmo en las instalaciones del Centro de Investigación y Aplicaciones Militares (CICTE), (ver Figuras 24 y 25), en cuanto al desempeño del algoritmo, se confirma los resultados previamente obtenidos, es decir que sistema prototipo desarrollado detecta y marca el borde del drone Parrot Bebop 2 a una distancia máxima de 90 metros con una configuración previa del zoom en la cámara EL-8000IR.

Figura 24.

Validación del algoritmo en instalaciones del CICTE



Nota. Validación del algoritmo en las instalaciones del CICTE, resultados evaluados por el Cap. Merizalde responsable del CICTE y del director de tesis Msc Rubén León.

Figura 25.

Validación del algoritmo en diferentes distancias



Nota. Validación del algoritmo en las instalaciones del CICTE, detección del dron Parrot Bebop2 en diferentes distancias.

Para concluir, el presente capítulo está conformado con los resultados obtenidos del algoritmo desarrollado, además se realiza el análisis en cada uno de los escenarios planteados; el siguiente y último capítulo consta de las conclusiones y recomendaciones que se obtienen a partir de la evaluación y elaboración del sistema prototipo de discriminación de drones mediante el uso de cámaras de video.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El desarrollo de un sistema prototipo de discriminación y seguimiento de drones mediante el uso de cámaras de video, se realizó mediante la aplicación de las librerías de procesamiento de imágenes que conforman OpenCV, lo cual permitirá dentro del ámbito social y militar que cuenten con una alternativa de bajo costo para alertar y vigilar una posible violación del espacio aéreo a posibles amenazas de drones en sectores estratégicos.

El algoritmo desarrollado para el sistema prototipo de discriminación y seguimiento de drones tiene un alcance probado de noventa metros para identificar en tiempo real al dron, simultáneamente marca el contorno del dron siempre y cuando se encuentre dentro del campo de visión de la cámara de vídeo, con el objeto de identificar la trayectoria. En definitiva, este algoritmo es un primer paso para conseguir un sistema de vigilancia automatizado y con mayor capacidad de monitoreo.

Se realizó el diagnóstico de la cámara de video EL-8000IR siendo la única disponible en el CICTE al momento de desarrollar el presente trabajo, aun cuando existen en el mercado cámaras de superior desempeño.

La cámara de video EL-8000IR utilizada en las pruebas posee una definición de 650TVL lo que deteriora la calidad de la imagen en diferentes configuraciones de zoom, es decir que al realizar un acercamiento la imagen está pixelada y no está clara, si comparamos con una cámara HD la cantidad de píxeles conservados en un zoom es mucho menor. Con esto, se quiere enfatizar que el algoritmo desarrollado trabajó con imágenes generadas por una cámara de bajo desempeño.

Los sistemas comerciales de detección de drones se basan en procesamiento de imágenes y aprendizaje automático, de la misma forma se plantean métodos tradicionales por medio de radares, sin embargo al momento de llevar a cabo el desarrollo de este sistema prototipo de discriminación y seguimiento se evidenció una reducción significativa en cuanto a costos, si comparamos con los sistemas de detección existentes en el mercado, de todos modos aun tratándose de un prototipo se puede optar por una producción controlada en masa para salvaguardar la integridad y seguridad del espacio aéreo de determinadas zonas, pero utilizando cámaras más modernas disponibles en el mercado.

El estudio del arte permitió determinar que OpenCV es una herramienta potente que permite una gran versatilidad a la hora de trabajar con sistemas de visión por computadora y aprendizaje automático, es una alternativa adecuada y de libre disposición para el desarrollo de sistemas de vigilancia, además OpenCV se puede utilizar a través de la interfaz nativa de C++ o cualquier otro lenguaje de programación.

Las librerías Open Source fueron fundamentales en la implementación de los algoritmos de detección y seguimiento de drones, siendo responsables en la adquisición de imágenes, procesamiento, detección y seguimiento en los diferentes escenarios de trabajo que fueron probados.

En la evaluación del desempeño el algoritmo desarrollado para el sistema prototipo de discriminación y seguimiento de drones tiene un alcance probado de noventa metros para identificar en tiempo real al dron, simultáneamente marca el contorno del dron siempre y cuando se encuentre dentro del campo de visión de la cámara de vídeo, con el objeto de identificar la trayectoria. En definitiva, este algoritmo

es un primer paso para conseguir un sistema de vigilancia automatizado y con mayor capacidad de monitoreo.

El sistema como tal es una herramienta que dotará de tecnología a las Fuerzas Armadas en función de su tarea de proteger la soberanía del país, todo esto con antecedente de que el prototipo fue desarrollado gracias a la cooperación del Centro de Investigación y Aplicaciones Militares (CICTE), lo que demuestra que el desarrollo de tecnología militar es viable con la determinación y guía correcta dentro del marco de lo legal y lo ético.

Recomendaciones

OpenCV es una gran biblioteca de visión por computadora, se puede acceder de forma gratuita a todos los algoritmos y técnicas de procesamiento, para acelerar la lógica y ejecución de las funciones se recomienda trabajar en conjunto con la Arquitectura Unificada de Dispositivos de Cómputo (CUDA), en otras palabras, realizar el cómputo paralelo para realizar dos o más procesos al mismo tiempo.

Para que la implementación del sistema desarrollado sea ventajoso y preciso se recomienda utilizar una cámara que capture vídeo con el mínimo requerimiento de resolución HD, en lo posible que cuente con características de enfoque y zoom automático, por otra parte, la ubicación de la cámara o red de cámaras, debe ser en puntos estratégicos y fijos a campo abierto a fin de prevenir la detección de falsos positivos.

En caso de requerir innovar el algoritmo, se lo puede efectuar en cualquier plataforma de programación que soporte lenguaje C++, sin embargo, se recomienda que se lo haga sobre la plataforma de Visual Studio en la versión 2019 o superior, dado

que facilita varias herramientas útiles para cambios en la interfaz gráfica, tiempos de monitoreo, modos de operación o implementación de procesos depurados que utilizan las funciones de OpenCV.

Trabajos Futuros

El presente trabajo permite detectar al dron dentro del campo de visión de la cámara de vídeo. Se propone investigar sobre la programación de funciones que pertenezcan a la librería OpenCV y que permitan calcular y visualizar en la interfaz gráfica la distancia y la velocidad del dron.

Un próximo trabajo consiste en desarrollar la interfaz gráfica en sistemas operativos iOS y Android, con el objeto de agregar portabilidad al sistema de discriminación y seguimiento.

Dentro de este orden de ideas es fundamental agregar conectividad al sistema, es decir que se pueda ingresar de forma remota al circuito de vídeo de la cámara e interactuar con la aplicación, además que cuente con notificaciones de alerta que indique el sobrevuelo de un dron dentro de un área en específico.

Referencias

- Arévalo, V. M., González, J., & Ambrosio, G. (2004). La Librería de Visión Artificial OpenCV. Aplicación a la Docencia e Investigación. (40), 61-66.
- Beltrán, J. L., & Universidad Politécnica Salesiana. (2018, marzo). *Desarrollo de un prototipo detector de drones cuadricópteros en espacios restringidos mediante firmas acústicas de sus motores.*
- Bescós, J., & Universidad Autónoma de Madrid. (2016, junio). *SEGUIMIENTO AUTOMÁTICO DE OBJETIVOS CON DRONES MEDIANTE ALGORITMOS DE TRACKING.* Retrieved Enero 6, 2021, from https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/675129/Rico_Diaz_Roi_tfg.pdf?sequence=1
- Bradski, G., & Kaebler, A. (2008). *Learning OpenCV* (Primera ed.). Mike Loukides. [https://books.google.com.ec/books?id=seAgiOfu2EIC&lpg=PR3&ots=hVH19hjALg&dq=Bradski%2C%20G.%2C%20y%20Kaehler%2C%20A.%20\(2008\).%20Learning%20OpenCV.%20Sebastopol%3A%20O%E2%80%99Reilly%20Media%2C%20Inc&lr&hl=es&pg=PR3#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=seAgiOfu2EIC&lpg=PR3&ots=hVH19hjALg&dq=Bradski%2C%20G.%2C%20y%20Kaehler%2C%20A.%20(2008).%20Learning%20OpenCV.%20Sebastopol%3A%20O%E2%80%99Reilly%20Media%2C%20Inc&lr&hl=es&pg=PR3#v=onepage&q&f=false)
- Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV* (Primera ed.). Mike Loukides. <https://www.bogotobogo.com/cplusplus/files/OReilly%20Learning%20OpenCV.pdf>
- Busquets, J. N. (2018). *Sistema de detección de matrículas con Open CV. ANPR (Automation Number Plate Recognition).*
- Callegari, A., & Goberna, A. (2015). *El doble filo de los drones: regulación y resguardo de la privacidad* (Arévalo y otros, 2004) *ad en Argentina* [Presentado en Simposio Argentino de Informática y Derecho (SID 2015) - JAIIO 44 (Rosario, 2015)].
- Carrillo Villalobos, J. L., Juárez Menchaca, A. E., López Terrazas, A., & Madrigal Vázquez, F. (2019). *El Mundo de los Drones: Tipos de Drones y sus Principales*

Usos. *FINGUACH. Revista De Investigación Científica De La Facultad De Ingeniería De La Universidad Autónoma De Chihuahua*, 4(14), 3-5.

<https://vocero.uach.mx/index.php/finguach/article/view/332>

Chasillacta, M. N. (2020). *Reconocimiento y seguimiento de plataformas para el aterrizaje automático de un vehículo aéreo no tripulado basado en inteligencia artificial y odometría visual.*

Chiang Sánchez, P. M., & Nieto Espinoza, C. A. (2015). *Implementación y programación de la estabilidad del vuelo de un DRON para el concurso de robótica de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.*

Dirección General de Aviación Civil. (2020, noviembre 4). *Reglamento de Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs)*. <https://www.aviacioncivil.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/11/5-DGAC-DGAC-2020-0110-R-Reglamento-de-RPAs.pdf>

Dufour, L., Owen, K., Mintchev, S., & Floreano, D. (2016, October). *A drone with insect-inspired folding wings* [In 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)]. Ieee.

Fráter, T., Juzsakova, T., Lauer, J., Dióssy, L., & Rédey, A. (2015). Unmanned aerial vehicles in environmental monitoring—An efficient way for remote sensing. *Journal of Environmental Science and Engineering A*, 4(2), 85-91.

Friedrich, N. (2021, June). Drones Define New Combat Environment. *New Developments in EW and Signals Intelligence*, 18-20.

HobbyTuxtla. (2015). *DJI Aeroscope antena detector de drones*. Sistema de detección de drones. Retrieved Enero 6, 2021, from <https://www.hobbytuxtla.com/sistemas-antidrones/dji-aeroscope/>

- ISOIN - Ingeniería y Soluciones Informáticas. (2016, diciembre 14). *INTRODUCCION EN TÉCNICAS DE "TRACKING" O SEGUIMIENTO*. Retrieved Enero 6, 2021, from <https://www.isoin.es/introduccion-en-tecnicas-de-tracking-o-seguimiento/>
- Mora, D. A. (2020). *Uso del drone como herramienta en productos audiovisuales en el Ecuador*. [Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. Cuenca. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18866/1/UPS-CT008792.pdf>
- Moya, J.P.A. (2012). *Procesamiento y Análisis de imágenes digitales*.
- OpenCV. (2017, Agosto Viernes). Visión por computadora de código abierto. Retrieved enero Martes, 2022, from <https://docs.OpenCV.org/3.3.0/d1/dfb/intro.html>
- Oualline, S. (1995). *Practical C++ Programming*. O'Reilly & Associates, Inc.
- Parrot Bebop 2 Drone. (2020). Parrot. Retrieved Enero 11, 2022, from <https://www.parrot.com/es/drones/>
- Parrot S.A. (2020). *Parrot Bebop Drone Own the sky with Parrot Ultimate Full HD drone camera*. Parrot. <https://manualzz.com/doc/3363838/parrot-bebop-drone-data-sheet>
- Pham, G. N., & Nguyen, P. H. (2020, February). Drone Detection Experiment Based On Image Processing and Machine Learning. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH VOLUME 9, ISSUE 02, FEBRUARY 2020, Volume 9, 2965-2971*.
- Sailema Chicaiza, F. E. (2017, octubre). *Sistema Electrónico de alerta automática para el reconocimiento de señales de tránsito reglamentarias, preventivas e informativas en la ciudad de Ambato*. Repositorio UTA. Retrieved enero, 2017, from https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26945/1/Tesis_t1343ec.pdf

- Universidad Blas Pascal. (2020). Vehículos aéreos no tripulados (drones). Aspectos de interés e inscripción registral. *Revista de Derecho Notarial y Registral*, 3 (2016), 206-221.
- Usman, O. L., & Akeem, O. (2016). Introduction to computer programming. *College of Science and Information Technology*, 1(1), 130-137.
<https://edu.gcfglobal.org/en/computer-programming-basics/introduction-to-computer-programming/1/>
- Viera Maza, G. (2017, marzo). *Procesamiento de imágenes usando OpenCV aplicado en Raspberry Pi para la clasificación del Cacao*. Repositorio Institucional de la Universidad de Piura. Retrieved enero 4, 2022, from https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2916/IME_218.pdf