



GRADO EN INGENIERÍA DE ROBÓTICA SOFTWARE

Escuela de Ingeniería de Fuenlabrada

Curso académico 2023-2024

Trabajo Fin de Grado

Navegación Autónoma de drones basado en
inteligencia artificial y aprendizaje por refuerzo

Autor: Bárbara Villalba Herreros

Tutor: Dr. Roberto Calvo Palomino



Este trabajo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional CC BY-NC-SA International License (Creative Commons AttributionNonCommercial-ShareAlike 4.0). Usted es libre de *(a) compartir*: copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato; y *(b) adaptar*: remezclar, transformar y crear a partir del material. El licenciador no puede revocar estas libertades mientras cumpla con los términos de la licencia:

- *Atribución.* Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciatante.
- *No comercial.* Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.
- *Compartir igual.* Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

Agradecimientos

En primer lugar quería agradecer a todas las personas que han sido parte de este camino y trayectoria, agradezco a mis tres familias por apoyarme y no dejarme rendirme en ningún momento.

Mención especial a mi pareja Renato Luigi por estar a pie de cañón en todo momento ayudando, apoyando, y escuchando, no me olvidaré de las charlas que teníamos en el coche mientras cenábamos. También quería agradecer a mi padre por sus charlas telefónicas de vuelta a casa, en donde me intentaba ayudar con sus ideas. Además de mi madre, mi hermana y abuelos por estar siempre a mi lado.

En segundo lugar, quiero mencionar a mi cuñado Angelo Vincenzo por ser compañero de carrera y poder haber compartido una variedad de recuerdos que nunca olvidaré.

Además de agradecer a mi tutor Roberto por la paciencia que ha tenido durante el desarrollo de este trabajo y brindarme ánimos en el camino.

Finalmente, dar las gracias a las personas que no pueden estar en estos momentos.

*A alguien especial,
que está en el cielo, Vincenzo.
Bárbara Villalba*

Resumen

La revolución tecnológica ha tenido un impacto sin precedentes en el mundo de la robótica, desde los robots industriales en las fábricas hasta tener robots capaces de entablar conversaciones con personas. Dentro del mundo de la robótica, la navegación autónoma emerge una de las áreas más emocionantes como la navegación autónoma de drones con sistemas de inteligencia artificial, permitiendo que los vehículos aéreos no tripulados no solo ejecuten tareas preprogramadas, sino que también sean capaces de aprender la adaptación de entornos dinámicos y cambiantes. Convirtiendo a estos pequeños vehículos en un gran desafío en el mundo de la robótica aérea. Los drones pueden ser programados para realizar tareas específicas por ejemplo mapear terrenos en aplicaciones cartográficas o entregar suministros médicos en zonas de difícil acceso.

A parte de la navegación autónoma, la inteligencia artificial permite a los drones por ejemplo ser entrenados para reconocer patrones y objetos en su entorno lo que les puede permitir realizar tareas como la identificación de personas en situaciones de búsqueda y rescate o la detección de anomalías en infraestructuras con algoritmos de aprendizaje automático. Sin embargo, a pesar de estos avances, la navegación autónoma e inteligencia artificial en drones sigue siendo un área de investigación debido a la necesidad de algoritmos de aprendizaje más robustos que en un futuro próximo se podrá llegar a cumplir con éxito.

Con este Trabajo de Fin de Grado demostraremos que la navegación autónoma de drones es capaz de tener un comportamiento autómato en entornos realistas y complejos de carreteras tomando decisiones en tiempo real para alcanzar sus objetivos de manera eficiente y segura. Para poder lograr esto, se explorarán y se implementarán técnicas de algoritmos de aprendizaje autómato y de inteligencia artificial con un enfoque en particular en el aprendizaje por refuerzo utilizando entornos de simulación de Airsim.

Acrónimos

UAV *Unmanned Air Vehicle*

UAS *Unmanned Air System*

GCS *Ground Control Station*

IA *Inteligencia Artificial*

Airsim *Aerial Informatics and Robotics Simulation*

AGV *Automated Guided Vehicles*

AMR *Autonomous Mobile Robots*

TFG *Trabajo de fin de Grado*

ROS *Robotic Operative System*

Mavros *MAVlink to ROS Interface*

ML *Machine Learning*

API *Application programming interface*

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Enfoques en la robótica	3
1.1.1. Teleoperación	3
1.1.2. Autonomía	5
1.2. La inteligencia artificial en la navegación autónoma de drones	11
1.3. Navegación autónoma en Airsim basada en inteligencia artificial y aprendizaje por refuerzo	12
2. Anexo	1
Bibliografía	5

Índice de figuras

1.1.	Unimate	2
1.2.	Definición de robot.	3
1.3.	Sojourner Rover	4
1.4.	Historia de los drones	7
1.5.	El dron Ingenuity y el rover Perseverance	8
1.6.	Drones en inspección electrica en Galicia	9
1.7.	MK23 de Amazon Prime Air	10

Listado de códigos

Listado de ecuaciones

Índice de cuadros

Capítulo 1

Introducción

En la última década, la evolución tecnológica ha provocado una transformación radical en nuestra forma de vivir, trabajar y relacionarnos desempeñando la tecnología un papel fundamental en el avance de la sociedad e impulsando una serie de innovaciones que se extienden desde la invención de la rueda hasta la era digital contemporánea. Por ejemplo, los ordenadores empezaron siendo grandes máquinas que ocupaban habitaciones enteras que requerían una gran cantidad de energía y mantenimiento. Hoy en día, los ordenadores son dispositivos ligeros y eficientes que pueden realizar múltiples cálculos por segundo. La telefonía móvil también ha experimentado una evolución destacada, los primeros móviles se caracterizaban de ser dispositivos pesados y grandes que solo podían realizar llamadas, pero hoy en día no solamente podemos realizar llamadas telefónicas con un teléfono móvil,sino que también podemos enviar mensajes, navegar por internet, tomar fotos, escuchar música, ver vídeos y mucho más.

Entre las diversas ramas de la tecnología, la robótica se destaca como una de las más prometedoras. Apareciendo como disciplina durante la década de los años 60, teniendo un crecimiento exponencial en las últimas décadas. Dos figuras clave en el desarrollo de la robótica fueron Jorge Deva (1921-2011) y José Engarberare (1925-2015) considerados como padres de la robótica, quienes crearon el brazo robótico llamado Unimate¹. Este brazo robótico de 6 grados de libertad (3 grados en el brazo y 3 grados en la muñeca) estaba construido con una base de acero y aluminio en su brazo, constaba de sensores rotatorios personalizados que permitian al robot poder conocer la posición de sus articulaciones y así controlar sus movimientos de manera eficiente y actuadores hidráulicos. Gracias a este robot las fabricas de producción empezaron a ser automatizadas facilitando la creación de otro tipo de robots industriales dando lugar al inicio de una nueva en el mundo industrial.

¹<https://robotsguide.com/robots/unimate/>

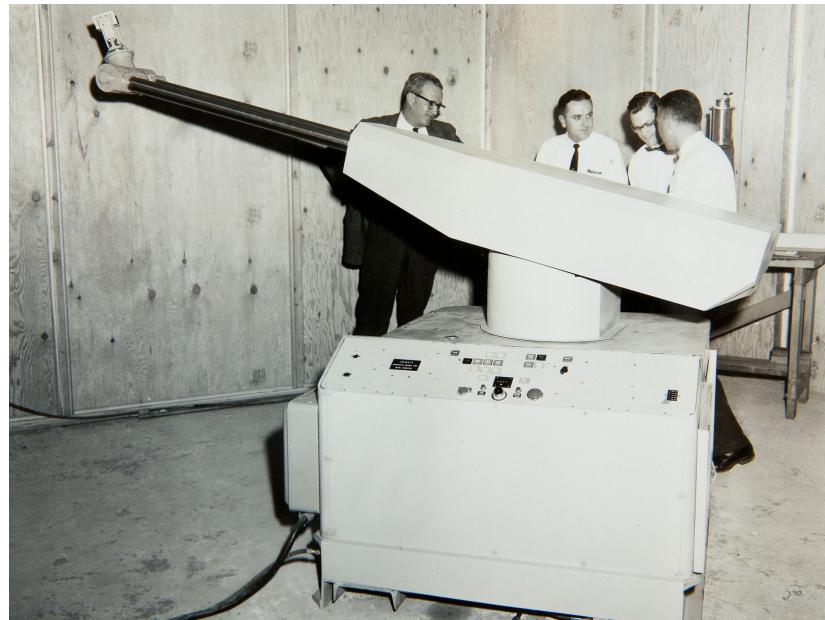


Figura 1.1: Unimate

La robótica ha tenido un cambio asombroso desde la creación del robot Unimate, pasando de ser simples máquinas programables a sistemas inteligentes capaces de aprender y adaptarse a su entorno teniendo avances en diversas disciplinas de la ingeniería, como la informática, la inteligencia artificial, la ingeniería de control, la mecánica y otras más. Los robots de hoy en día no solo tienen la capacidad de realizar tareas programadas y repetitivas, sino que también tienen la capacidad de interactuar con su entorno , tomar decisiones basadas en la información sensorial y aprender de sus experiencias. Este avance en la robótica nos ha permitido tener una definición más precisa de lo que es la robótica moderna, definiendo la robótica como ciencia interdisciplinaria encargada de la creación, funcionamiento, estructuración, fabricación y uso de los robots. Esta definición mencionada incluye no solo los componentes mecánicos y eléctricos, sino que también los algoritmos que los controlan, los sensores que les permiten recopilar datos de su entorno y los sistemas que procesan esta información y toman decisiones.

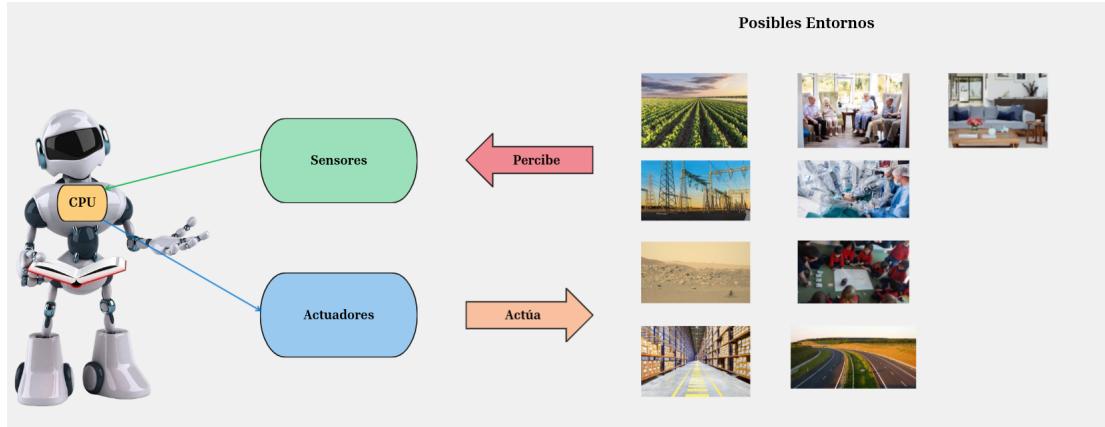


Figura 1.2: Definición de robot.

Lo que hace que un robot tenga la capacidad de aprender y adaptarse a un entorno abierto de nuevas oportunidades para la robótica, como la medicina, la exploración lunar, la asistencia personal, la automatización industrial y más. Además de abrir nuevas aplicaciones y tareas como puede ser la navegación autónoma, la detención de objetos o la manipulación de objetos con sensores táctiles y de fuerza, dichas tareas pueden realizar pueden ser peligrosas, delicadas, sucias o monótonas (conocidas como las 4D's: dull,dirty, dangerous and dear) ²

1.1. Enfoques en la robótica

A lo largo de la evolución de la robótica, han surgido dos enfoques fundamentales para el diseño y la operación de robots, cada uno de estos enfoques presentan diferentes formas de interactuar y operar robots, con sus propias características y aplicaciones únicas.

1.1.1. Teleoperación

La teleoperación surge de la necesidad de manipular objetos o realizar tareas en entornos complejos, peligrosos y distantes para el ser humano. Desde la historia, el ser humano ha utilizado una variedad de herramientas para ampliar su capacidad de manipulación como palos utilizados para caer la fruta madura de un árbol. Con el tiempo, se desarrollaron dispositivos más complejos, como pinzas que permitían manipular piezas o alcanzar objetos de difícil acceso facilitando el trabajo para el

²:<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2017/10/16/the-4-ds-of-robotization-dull-dirty-dangerous-and-dear/?sh=40bb6cec3e0d>

operario. En la era moderna, la teleoperación ha estado evolucionando hasta el punto de incluir sistemas robóticos robustos que pueden ser controlados a distancia, permitiendo al operario poder realizar tareas en entornos peligrosos e innaccesibles para el ser humano como puede ser la exploración espacial, la cirugía de un ser humano u inspección nuclear.

La intervención del operador humano en los sistemas de teleoperación de robots es imprescindible, debe ser capaz de poder interpretar los datos sensoriales que proporciona el robot, así como de tomar decisiones robustas y precisas dependiendo de la situación. Esto conlleva tener una capacidad de realizar múltiple tareas simultáneamente, adaptarse a situaciones imprevistas.

Hoy en día, la teleoperación de robots tiene variedad de aplicaciones. Una de ellas puede ser la exploración espacial, en donde se utiliza la teleoperación como técnica de manipulación remota como el Sojourner Rover. El Sojourner Rover³ es un pequeño robot móvil compuesto por 6 ruedas creado por los científicos de la NASA para estudiar la superficie de Marte con la capacidad de enviar imágenes en directo y realizar análisis del terreno del planeta. Gracias a sus ruedas podía moverse por terrenos rocosos y de difícil acceso ya que estaban equipadas materiales como de aluminio y acero inoxidable.



Figura 1.3: Sojourner Rover

³<https://www.astronomy.com/space-exploration/sojourner-nasas-first-mars-rover/>

Con esta misión espacial se pudo probar como era el entorno marciano con técnicas realizadas en los laboratorios de la NASA demostrando que se podía realizar una teleoperación en el espacio abriendo el camino a futuros rovers como el Spirit, Opportunity y más ⁴.

1.1.2. Autonomía

La robótica autónoma consiste en tener robots que sean capaces de operar y realizar tareas de forma independiente sin la intervención de un ser humano. En contraste con los robots teleoperados, este tipo de robots necesitan un comportamiento más robusto y preciso para realizar tareas independientes basándose en la percepción del entorno y en la toma de decisiones autónomas.

El concepto de automía en los sistemas robóticos se está convirtiendo en un área de investigación activa y en rápido desarrollo. Los avances en inteligencia artificial (IA), visión artificial, aprendizaje automático han facilitado la creación de robots autónomos capaces de llevar a cabo amplias variedades de tareas en entornos no estructurados y cambiantes.

Los robots móviles

La conducción autónoma

Robótica aérea

Dentro del campo de la robótica aérea tenemos los drones. Podemos definir un dron, como vehículo aéreo no tripulado (UAV), es un tipo de aeronave que puede operar sin la necesidad de un piloto humano a bordo. Estos dispositivos pueden ser controlados remotamente por un operador humano o navegar autonomamente incorporando software en su sistema.

El origen de los drones se remonta a la Primera Guerra Mundial con el biplano Kettering Bug. Este era un torpedo no tripulado de 240 kg (con una envergadura de 4,5 m, una longitud de 3,8 m y una altura de 2,3 m)⁵ era impulsado por un motor alternativo. Podía volar de forma autónoma hasta un punto específico, donde soltaba sus alas y caía en “caída libre” ⁶.

⁴<https://spaceplace.nasa.gov/mars-spirit-opportunity/sp/>

⁵<https://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/Museum-Exhibits/Fact-Sheets/Display/Article/198095/kettering-aerial-torpedo-bug/>

⁶<https://daytonunknown.com/2023/06/30/the-kettering-bug-the-worlds-first-drone/>

Avanzando en la historia, en 1935 se desarrolló el DH.82 Queen Bee⁷. Este era un blanco aéreo sin piloto que era controlado por radio. De hecho, parece que el término “dron” se originó a partir del nombre, que se refiere a la abeja macho que realiza un vuelo en busca de la abeja reina y luego fallece.

Durante la Segunda Guerra Mundial, quizás el más conocido fue el V-1 ”Flying Bomb”⁸, el primer misil de crucero operativo del mundo, en donde su sistema de guía pre establecido incluía una brújula magnética que monitoreaba un autopiloto con giroscopios. También en este periodo, destacaremos el *Project Aphrodite* [Frisbee, 1997], fue un programa que tenía como objetivo convertir bombarderos en bombas voladoras no tripuladas que eran controladas por radio. Más adelante estos bombarderos no tripulados se utilizaron para volar a través de nubes de humo después de las pruebas nucleares.

Destacando más UAVs, tenemos la familia Teledyne Ryan Firebee/Firefly⁹, estos sistemas generalmente se lanzaban desde el aire y se recuperaban mediante una combinación de paracaídas y helicópteros. El Lockheed D-21 fue uno de los sistemas más impresionantes durante la Guerra Fría. Este UAV fue impulsado por estatorreactor con velocidades mayores que Mach 3¹⁰. En la Edad Moderna, destacamos El Condor [Alavarez, 2016], fue el primer UAS en utilizar navegación GPS y tecnología de aterrizaje automático y el Predator¹¹. En la época dorada, gracias a los avances anteriores se pudo desarrollar sistemas militares esenciales que han demostrado su valor y el desarrollo de vehículos aéreos no tripulados pequeños (small UAV). Este último ha despertado un gran interés significativo resaltando como puntos de entrega al mercado civil ya que con sus cargas útiles reducidas pueden ser portátiles y tener un coste menor

⁷<https://dronewars.net/2014/10/06/rise-of-the-reapers-a-brief-history-of-drones/>

⁸<https://migflug.com/jetflights/the-v1-flying-bomb/>

⁹<https://www.designation-systems.net/dusrm/m-34.html>

¹⁰<https://www.marchfield.org/aircraft/unmanned/d-21-drone-lockheed/>

¹¹<https://www.airforce-technology.com/projects/predator-uav/?cf-view>



Figura 1.4: Historia de los drones

Cada vez es más común que los drones sean más sofisticados y accesibles. Por ejemplo, el dron Ingenuity de la NASA se ha convertido en el primer vehículo aéreo en poder volar sobre la superficie de otro planeta. Fue transportado a Marte mediante el rover Perseverance de la NASA, una vez fue posicionado el dron se elevó cerca de tres metros realizando diferentes giros y desplazamientos tomando fotos a la superficie, teniendo la capacidad de escoger de forma autónoma los sitios de aterrizaje en el terreno marciano ¹².

Uno de los gran retos de este proyecto fue poder volar sobre la superficie de Marte ya que su atmósfera está compuesta por el 1 por ciento de la densidad terrestre dificultando el vuelo del dron. Sin embargo, gracias a su diseño ligero y a sus hélices especialmente diseñadas para crear suficiente sustentación en la atmósfera del planeta, el Ingenuity

¹²<https://ciencia.nasa.gov/sistema-solar/finaliza-la-mision-del-helicoptero-ingenuity-en-marte/>

fue capaz de superar este desafío ¹³.

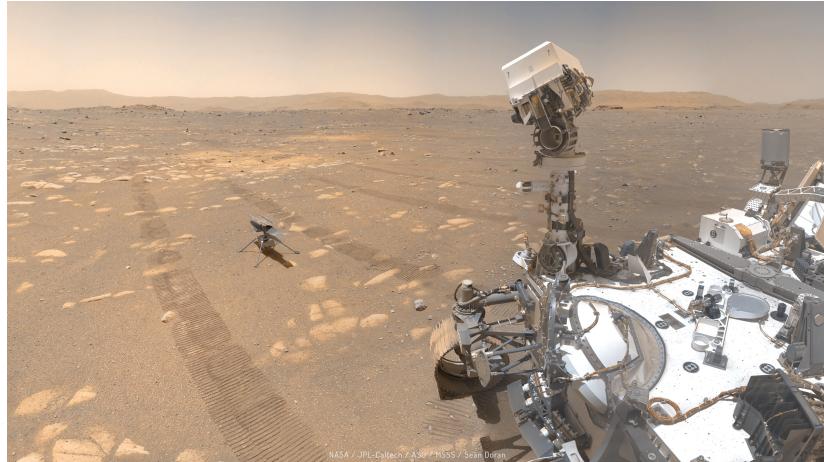


Figura 1.5: El dron Ingenuity y el rover Perseverance

Otro ejemplo de uso podemos tener control y mantenimiento de redes eléctricas y otras infraestructuras. Algunas construcciones constan de grandes alturas y tamaños, lo que puede dificultar el trabajo y su correcto mantenimiento. No obstante, estas tareas con los drones se agilizan y se vuelven más eficientes y robustas, porque permiten poder inspeccionar dichas infraestructuras desde cerca sin poner en peligro a la seguridad de los operarios. Hay drones que se encargan en la monitorización de infraestructuras eléctricas.

Unión Fenosa, la distribución eléctrica en España de Naturgy, en 2018 incorporó drones a sus instalaciones eléctricas para realizar labores de supervisión. Estos drones aportan soluciones optimizadas y eficientes en costes. Si tenemos en cuenta la longitud que puede tener las redes eléctricas el uso de estos vehículos autónomos facilita las tareas de supervisión equipados de cámaras de última generación permiten al operario observar en tiempo real el estado de las infraestructuras. Además de que los drones podrían acceder a zonas de difícil acceso para comprobar daños y poder repararlos ¹⁴.

¹³<https://www.bbc.com/mundo/noticias-56738201>

¹⁴<https://www.ufd.es/blog/primer-vuelo-de-un-dron-mas-allá-de-la-línea-visual/>

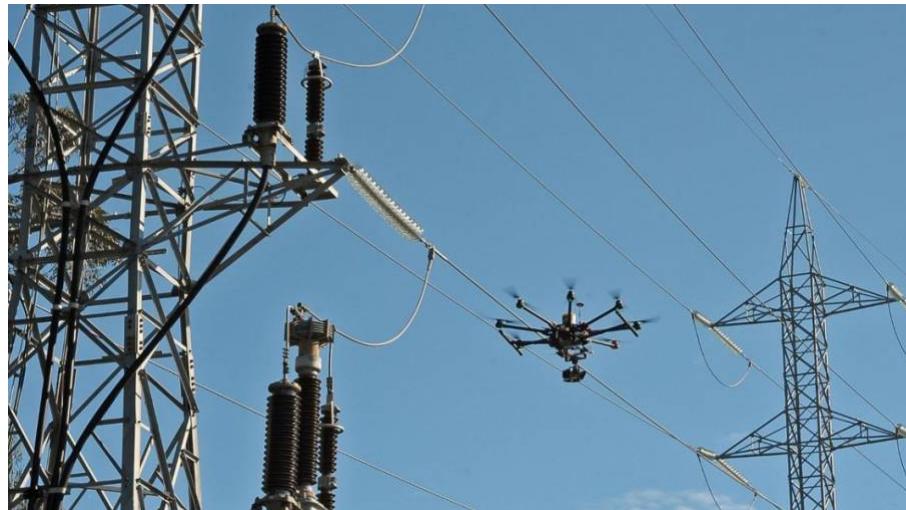


Figura 1.6: Drones en inspección electrica en Galicia

Asimismo, Amazon ha estado trabajando en el desarrollo de drones para la entrega de paquetes durante varios años que se espera que vuele de cara al 2024 llamado así Prime Air[Jung and Kim, 2017], que consiste en un sistema de entrega de paquetes utilizando estos vehículos. Durante este programa, han realizado diferentes pruebas de reparto de paquetes a clientes en 60 minutos o menos. Estas entregas se realizan desde sitios preparados con esta modalidad, el proceso de entrega de los drones empezarian en los centros de preparación de pedidos en donde los empleados seleccionarian el artículo comprobado, lo llevarían a la estación de embalaje y cuando este preparado su embalaje se deslizaria por una rampa hacia la fase de entrega. En la fase de entrega los empleados preparan el paquete y la bateria del dron para su destino. Cuando el dron halla realizado el despegue seguira una ruta prestablecida con supervisión de un operador para garantizar su entrega.

Estos drones están automatizados para que logren volar a velocidades de 65 kilómetros por hora, al llegar el dron a su destino, se detendrá y descenderá lentamente para dejar el paquete en un área designada. Una vez el paquete haya sido entregado, el vehículo regresará al centro de preparación de pedidos para realizar la siguiente entrega¹⁵.

¹⁵<https://logistica.cdecomunicacion.es/e-commerce/140453/prime-air-amazon-entregas-drones>



Figura 1.7: MK23 de Amazon Prime Air

Sin embargo, Amazon Prime Air será más eficiente gracias al dron MK30 creado y diseñado por Amazon. Este pequeño dron

En un futuro cercano, puede que los drones sean más eficientes para las aplicaciones civiles y científicas incluyendo protección contra incendios forestales, misiones agrícolas, ayuda en catástrofes y más. Las demostraciones actuales del uso de los drones han revelado el potencial que pueden tener pero aun así el acceso al espacio aéreo sigue siendo un factor limitante. Con el paso del tiempo, se irán desarrollando nuevas tecnologías prácticas para poder permitir una integración segura en el espacio aéreo.

En resumen, los drones son una tecnología emergente con un potencial significativo para transformar una variedad de industrias. Sin embargo, también plantean desafíos únicos que deben ser abordados a medida que se integran más plenamente en nuestra sociedad. Con el desarrollo continuo de la tecnología de los drones y la evolución de las regulaciones, es probable que veamos un aumento en la variedad de las aplicaciones de los drones en el futuro.

1.2. La inteligencia artificial en la navegación autónoma de drones

1.3. Navegación autónoma en Airsim basada en inteligencia artificial y aprendizaje por refuerzo

En este trabajo realizaremos una navegación autonómica en entornos de simulación por Airsim mediante redes neuronales, algoritmos de aprendizaje automático y aprendizaje por refuerzo.

Capítulo 2

Anexo

A continuación se muestra las diferentes referencias a las figuras que hemos visto a lo largo de este trabajo junto con el enlace de donde ha sido obtenida. Las imágenes que no incluidas en este capítulo han sido formadas en el desarrollo de este trabajo provienen del mismo:

Referencia de las imágenes	Enlaces de donde se ha obtenido
1.1	https://robotsguide.com/robots/unimate/
1.3	https://airandspace.si.edu/multimedia-gallery/web12070-2011640.jpg
1.4	https://www.smithsonianmag.com/arts-culture/unmanned-drones-have-been-around-since-world-war-i-16055939/ https://web.happystays.com/?m=file-winston-churchill-and-the-secretary-of-state-for-tt-YQ3jGVI4 https://en.wikipedia.org/wiki/V-1_flying_bomb https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fthefrontlines.com%2Fstory%2Fww2-project-aphrodite%2F&psig=A0vVaw20cBlgMDH1HVU5qsiJ9_Fg&ust=1714151925046000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=OCBQQjhxqFwoTCNjGs9bv3YUDFQAAAAAdAAAAABAE https://en.wikipedia.org/wiki/Ryan_Firebee https://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_D-21 https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffigure%2FBoeing-Condor-UAV-23_fig10_261209014&psig=A0vVaw1q3J6eh2YCyEUzy1QM9z-K&ust=1714152091161000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=OCBQQjhxqFwoTCJDyqXw3YUDFQAAAAAdAAAAABAE https://www.timesofisrael.com/idf-launches-probe-after-two-more-mini-drones-crash/ https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fnews.usni.org%2F2020%2F09%2F15%2Fmarines-placing-small-uavs-into-ground-combat-element-as-aviators-still-refining-large-uas-requirement&psig=A0vVaw2csv7vma6UxJokGvlG8j7h&ust=1714152048517000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=OCBQQjhxqFwoTCLiCtZHw3YUDFQAAAAAdAAAAABAE
1.7	https://www.space.com/mars-rover-perseverance-helicopter-ingenuity-photo

1.4	<p>https://www.smithsonianmag.com/arts-culture/unmanned-drones-have-been-around-since-world-war-i-16055939/</p> <p>https://web.happystays.com/?m=file-winston-churchill-and-the-secretary-of-state-for-tt-YQ3jGVI4</p> <p>https://en.wikipedia.org/wiki/V-1_flying_bomb</p> <p>https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fthefrontlines.com%2Fstory%2Ffw2-project-aphrodite%2F&psig=A0vVaw20cBlgMDH1HVU5qsiJ9_Fg&ust=1714151925046000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=OCBQQjhxqFwoTCNjGs9bv3YUDFQAAAAAdAAAAABAE</p> <p>https://en.wikipedia.org/wiki/Ryan_Firebee</p> <p>https://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_D-21</p> <p>https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffigure%2FBoeing-Condor-UAV-23_fig10_261209014&psig=A0vVaw1q3J6eh2YCyEUzy1QM9z-K&ust=1714152091161000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=OCBQQjhxqFwoTCJDyqXw3YUDFQAAAAAdAAAAABAE</p> <p>https://www.timesofisrael.com/idf-launches-probe-after-two-more-mini-drones-crash/</p> <p>https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fnews.usni.org%2F2020%2F09%2F15%2Fmarines-placing-small-uavs-into-ground-combat-element-as-aviators-still-refining-large-uas-requirement&psig=A0vVaw2csv7vma6UxJokGv1G8j7h&ust=1714152048517000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=OCBQQjhxqFwoTCLiCtZhw3YUDFQAAAAAdAAAAABAE</p>
??	https://www.flickr.com/photos/usgao/17177670625
??	https://medium.com/techwomenc/qui%C3%A9n-regula-la-moral-en-la-ia-342ddfd1f12a
??	https://www.researchgate.net/figure/Arquitectura-de-una-red-neuronal_fig1_350429103
??	https://josebaruiz.com/modelos-machine-learning-con-python/
??	https://github.com/RoboticsLabURJC/2022-tfg-barbara-villalba/graphs/contributors

??	https://www.ros.org/imgs/ros-equation.png
??	https://medium.com/@robtech.impaciente/ros-robot-operating-system-fundamentos-e92478c26e02
??	https://www.openrobotics.org/blog/2020/5/23/noetic-ninjemys-the-last-official-ros-1-release https://www.ros.org/news/2018/04/ros-melodic-morenia-logo-and-tshirt-campaign.html
??	https://404warehouse.net/2015/12/20/autopilot-offboard-control-using-mavros-package-on-ros/
??	https://img-blog.csdnimg.cn/272026cef41047cdb7e523fb9a28e173.png?x-oss-process=image/watermark,type_d3F5LXplbmhlaQ,shadow_50,text_Q1NETiBAamluYXV0bw==,size_20,color_FFFFFF,t_70,g_se,x_16 https://www.scrimmagesim.org/sphinx/html/_images/Asset_LandscapeMountains_1.png https://www.researchgate.net/figure/Appearance-of-the-maps-for-training-a-City-environment-b-Coastline-c_fig7_359436337 https://www.scrimmagesim.org/sphinx/html/_images/city_airsim_view.png https://github.com/Microsoft/AirSim/wiki/moveOnPath-demo
??	https://recimundo.com/index.php/es/article/view/814/1323
??	https://docs.px4.io/v1.14/en/flight_modes_mc/position.html
??	https://flathub.org/es/apps/org.mavlink.qgroundcontrol

Bibliografía

[Alavarez, 2016] Alavarez, D. A. R. (2016). The condor uav system.

[Dong et al., 2012] Dong, W., Man-Wen, L., Wei-Tian, Z., Xing-Gang, W., Xiang, B., Wen-Qing, C., and Wen-Yu, L. (2012). Yolop: You only look once for panoptic driving perception. *Machine Intelligence Research*, 19:253–266.

[Frisbee, 1997] Frisbee, J. L. (1997). Proyect aphrodite.

[Jung and Kim, 2017] Jung, S. and Kim, H. (2017). Analysis of amazon prime air uav delivery service. *Journal of Knowledge Information Technology and Systems*, 12:253–266.

[Kalashnikov et al., 2018] Kalashnikov, D., Irpan, A., Pastor, P., Ibarz, J., Alexander Herzog, E. J., Quillen, D., Holly, E., Kalakrishnan, M., Vanhoucke, V., and Levine, S. (2018). Qt-opt: Scalable deep reinforcement learning for vision-based robotic manipulation. pages 1–23.

[Vasconcelos and Vasconcelos, 2016] Vasconcelos, F. and Vasconcelos, N. (2016). Person-following uavs. pages 1–9.