



ESCUELA DE INGENIERÍA DE FUENLABRADA

GRADO EN INGENIERÍA DE ROBÓTICA SOFTWARE

TRABAJO FIN DE GRADO

Detección de transmisores radiofrecuencia con drones
utilizando aprendizaje por refuerzo.

Autor: Cristian Sánchez Rodríguez

Tutor: Dr. Roberto Calvo Palomino

Curso académico 2022/2023

Agradecimientos

ToDo

Madrid, 30 de junio de 2023

Cristian Sánchez Rodríguez

Resumen

En la actualidad, la ciencia ha avanzado a pasos agigantados con respecto a las soluciones tecnológicas. Uno de los campos más beneficiados, es la robótica, también gracias a que abarca una inmensa variedad de campos donde se pueden desarrollar soluciones eficientes y robustas.

Por otro lado, ha surgido un nuevo paradigma con el uso de drones, o sistemas aéreos provistos de sensores y actuadores, que amplían el espectro de uso para herramientas tecnológicas, permitiendo abordar los problemas desde nuevas perspectivas. En este proyecto, el foco de estudio se centra en los *Unmanned Air Vehicles* (UAV), ya que se busca automatizar todo el proceso de manejo del mismo.

De este modo, surge la idea de realizar este Trabajo de Fin de Grado (TFG), juntando lo mejor de ambos mundos, soluciones autónomas con dispositivos aéreos tremendamente adaptables a las circunstancias del problema.

Concretamente, el objetivo ha sido robotizar un dron, con el fin de rastrear y navegar hacia una señal de Radio Frecuencia (RF), mediante el uso de distintos algoritmos robóticos, con el fin de compararlos entre sí y determinar cual desempeña mejor su papel.

Acrónimos

TFG Trabajo de Fin de Grado

UAV *Unmanned Air Vehicles*

UAS *Unmanned Aerial System*

GCS *Ground Control Station*

SUAV *Small Unmanned Air Vehicle*

IA Inteligencia Artificial

RF Radio Frecuencia

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Robots	2
1.1.1. Drones	2
1.2. Inteligencia artificial	3
1.2.1. Aprendizaje por refuerzo	3
1.3. Señales	3
2. Objetivos	4
2.1. Descripción del problema	4
2.2. Requisitos	4
2.3. Metodología	4
2.4. Plan de trabajo	4
3. Plataformas de desarrollo y herramientas utilizadas	5
3.1. Lenguajes de programación	5
3.1.1. Python	5
3.1.2. C	5
3.2. Entornos de programación	5
3.2.1. Matlab	5
3.2.2. STM32CubeIde	5
3.2.3. Visual Studio Code	5
3.3. Exoesqueleto	5
3.4. Redes Neuronales	6
3.4.1. Red neuronal Movenet	6
3.4.2. Red neuronal Mediapipe Pose	6
3.4.3. Tablas comparativas de ambos modelos	6
4. Diseño	7
4.1. Recopilación inicial de datos con el exoesqueleto	7

4.2. Desarrollo de la obtención del PID teórico del exoesqueleto	7
4.2.1. Concepto de PID	7
4.2.2. Método de Ziegler-Nichols	7
4.2.3. PidTuner	7
4.3. Algoritmo del ejercicio de las sentadillas	7
4.4. Comparativa de resultados de redes neuronales de pose y exoesqueleto .	7
4.4.1. Guardado de datos	8
4.4.2. Obtención de los ángulos	8
4.4.3. Análisis de los resultados obtenidos	8
5. Conclusiones	9
5.1. Objetivos cumplidos	9
5.2. Requisitos satisfechos	9
5.3. Balance global y competencias adquiridas	9
5.4. Líneas futuras	9
6. Anexo	10
Bibliografía	12

Índice de figuras

Listado de códigos

Índice de cuadros

6.1. Anexo con las fuentes de donde se han obtenido las imágenes para este proyecto	11
--	----

Capítulo 1

Introducción

En la actualidad, la tecnología forma parte de nuestro día a día. Prácticamente, constituye un elemento imprescindible para llevar a cabo cualquier actividad, sea profesional o cotidiana. ¿Su función? solucionar problemas para hacernos la vida más sencilla.

Con esto en mente, se presenta la robótica, pero ¿qué es la robótica?. En breves términos, se trata de la ciencia encargada del estudio y diseño de dispositivos provistos de sensores y actuadores, capaces de realizar tareas, a través de la extracción y posterior procesamiento de la información, con el fin de generar respuestas adecuadas a lo obtenido.

Dentro de la robótica, existen diversas maneras de clasificación, sin embargo, la más común es:

1. **Robótica industrial:** que involucra mecanismos fijos, capaces de realizar tareas de manera rápida, precisa y eficiente. Como es el caso de los brazos robóticos.
2. **Robótica móvil:** la cual abarca el resto de dispositivos no mencionados, que engloba múltiples entornos y aplicaciones, como pueden ser, robótica en salud, en exploración, para desastres naturales, de limpieza, de patrullaje, ...etc.

Como tal, la robótica es especialmente buena a la hora de resolver tareas repetitivas, peligrosas y delicadas (EDIT añadir 4Ds). Sin embargo, uno de los problemas más complicados de abordar es el contexto, es decir, la capacidad de entender y adaptarse a las circunstancias del problema. Es ahí, donde se presenta el segundo gran protagonista, la Inteligencia Artificial (IA).

De este modo empieza este proyecto, con la robótica como base junto con la inteligencia artificial, con el fin de crear un dispositivo capaz de rastrear una señal

(como la de un smartphone), y navegar hasta ella de manera robusta.

Pero antes de entrar en materia, primero hay que definir los conceptos básicos como, ¿qué es exactamente un robot? ¿qué tipo de robot usaremos? ¿en qué consiste la IA y que emplearemos? ¿cómo funcionan las señales que rastreadremos?

1.1. Robots

Un robot es un dispositivo provisto con sensores, o elementos capaces de extraer información del entorno (por ejemplo una cámara), actuadores, o elementos que permiten al dispositivo realizar acciones (por ejemplo un motor), y una unidad de procesamiento, que se encarga de generar acciones a través de la información obtenida con los sensores, todo ello mediante algoritmos.

Según el problema que se quiera resolver conviene usar unos y otros. En nuestro caso buscamos un robot con capacidad de navegar, preferiblemente grandes distancias y que pueda tomar medidas de la intensidad de señal. De este modo, para el primer punto se tenían dos opciones, o bien un robot terrestre, o bien un robot aéreo. Para el segundo punto no influye ya que se podía incluir el sensor en cualquier dispositivo.

Finalmente se optó por la solución aérea, ya que nos permite barrer grandes superficies sin depender del terreno en sí.

1.1.1. Drones

En cuanto a un dron, o de forma más precisa un UAV hay que definir unos cuantos conceptos:

1. **Ground Control Station (GCS)**: es la estación de tierra o el elemento encargado de controlar la nave.
2. **Comunicación**: Conecta y gestiona la transmisión de datos entre el UAV y la GCS, mediante **data links**, o canales de transmisión.
3. **Unmanned Aerial System (UAS)**: Es el sistema compuesto por UAV + GCS + comunicaciones.

También cabe destacar que existen múltiples tipos de drones, según su peso y capacidad de carga de pago, o elementos que sea capaz de cargar, lo cual influye en

la legislación detras de su uso (cuanto mayor sea el peso más legislación debe cumplir y mayores restricciones de uso tiene). Por dichos motivos, el dispositivo seleccionado es de la categoría más inferior o tambien denominados *Small Unmanned Air Vehicle* (SUAV).

Tal y como fue mencionado, la gran ventaja del uso de vehículos aéreos es poder evitar las irregularidades del terreno, sin embargo, hay ligados al uso de estos dispositivos ciertos problemas, como son el clima, la carga de pago que afecta a la autonomía (peso de las baterías), los interiores (afectan a la señal GPS), ...etc.

1.2. Inteligencia artificial

ToDo...

1.2.1. Aprendizaje por refuerzo

ToDo...

1.3. Señales

Capítulo 2

Objetivos

ToDo...

2.1. Descripción del problema

ToDo...

2.2. Requisitos

ToDo...

2.3. Metodología

ToDo...

2.4. Plan de trabajo

ToDo...

Capítulo 3

Plataformas de desarrollo y herramientas utilizadas

ToDo...

3.1. Lenguajes de programación

3.1.1. Python

ToDo...

3.1.2. C

ToDo...

3.2. Entornos de programación

3.2.1. Matlab

ToDo...

3.2.2. STM32CubeIde

ToDo...

3.2.3. Visual Studio Code

ToDo...

3.3. Exoesqueleto

ToDo...

3.4. Redes Neuronales

ToDo...

3.4.1. Red neuronal Movenet

ToDo...

3.4.2. Red neuronal Mediapipe Pose

ToDo...

3.4.3. Tablas comparativas de ambos modelos

ToDo...

Capítulo 4

Diseño

ToDo...

4.1. Recopilación inicial de datos con el exoesqueleto

ToDo...

4.2. Desarrollo de la obtención del PID teórico del exoesqueleto

ToDo...

4.2.1. Concepto de PID

ToDo...

4.2.2. Método de Ziegler-Nichols

ToDo...

4.2.3. PidTuner

ToDo...

4.3. Algoritmo del ejercicio de las sentadillas

ToDo...

4.4. Comparativa de resultados de redes neuronales de pose y exoesqueleto

ToDo...

4.4.1. Guardado de datos

ToDo...

4.4.2. Obtención de los ángulos

ToDo...

4.4.3. Análisis de los resultados obtenidos

ToDo...

Capítulo 5

Conclusiones

ToDo...

5.1. Objetivos cumplidos

ToDo...

5.2. Requisitos satisfechos

ToDo...

5.3. Balance global y competencias adquiridas

ToDo...

5.4. Líneas futuras

ToDo...

Capítulo 6

Anexo

A continuación se muestran las referencias a las figuras de este trabajo junto con la fuente de la que han sido obtenidas:

Referencia imágenes	Fuente de la que se ha obtenido
??	1. https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/que-es-la-robotica/?cn-reloaded=1 2. https://www.elindependiente.com/vida-sana/2018/01/22/los-robots-que-nos-cuidaran-en-2050/ 3. https://www.iguanarobot.com/wp-content/uploads/2021/03/429190-1.jpg 4. https://www.robotexplorador.com/ 5. https://www.edsrobotics.com/blog/robots-autonomos-que-son/
??	1. https://www.hogarmania.com/hogar/economia/como-elegir-mejor-robot-aspirador.html 2. http://automata.cps.unizar.es/robotica/Morfologia.pdf 3. https://www.aarp.org/espanol/salud/enfermedades-y-tratamientos/info-12-2013/cirugia-robotica-beneficios-riesgos.html 4. https://www.nobbot.com/mars-home-planet-reto-mundial-colonizar-marte/
??	https://elpais.com/eps/2023-05-27/robots-que-sienten-lo-que-tocan.html
??	http://www.technovelgy.com/ct/Science-Fiction-News.asp?NewsNum=455
??	https://www.medicaexpo.es/prod/hocoma/product-68750-438408.html
??	https://exoesqueleto/pediatrico/puede/comercializar

??	1. https://altertecnia.com/exoesqueletos-mejorar-productividad/ 2. https://www.eafit.edu.co/innovacion/spinoff/natural-vitro/PublishingImages/banner%20-exoesqueleto.jpg 3. https://www.marsibionics.com/atlas-pediatric-exo-pacientes/ 4. https://exoesqueleto-militar
??	1. https://shop.bihar.coop/es/inicio/34-exoesqueleto-flexible.html 2. https://exoesqueleto/rigido/movilidad
??	https://person-pose-keypoints
??	https://www.st.com/content/st_com/en/stm32cubeide.html
??	1. https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1687814017735791 2. https://cjme.springeropen.com/articles/10.1186/s10033-020-00465-z
??	https://www.atriainnovation.com/que-son-las-redes-neuronales-y-sus-funciones/
??	https://esquema/arbol/decision
??	https://movenet/pose/estimation
??	https://www.analyticsvidhya.com/blog/2022/03/pose-detection-in-image-usi
??	https://developers.google.com/mediapipe/solutions/examples

Cuadro 6.1: Anexo con las fuentes de donde se han obtenido las imágenes para este proyecto

Bibliografía

- [1] Revista de Robots. *Robótica. Qué es la robótica y para qué sirve.* <https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/que-es-la-robotica/?cn-reloaded=1>, 2023.
- [2] Timothée Lesort, Vincenzo Lomonaco, Andrei Stoian, Davide Maltoni, David Filliat, and Natalia Díaz-Rodríguez. Continual learning for robotics: Definition, framework, learning strategies, opportunities and challenges. *Information fusion*, 2020.
- [3] MD Moniruzzaman, Alexander Rassau, Douglas Chai, and Syed Mohammed Shamsul Islam. Teleoperation methods and enhancement techniques for mobile robots: A comprehensive survey. *Robotics and Autonomous Systems*, 2022.
- [4] Rasel Hossain. A short review of the robotics. *Robotics and Autonomous Systems*, 2022.
- [5] Universidad EAFIT. *Exoesqueleto para rehabilitación.* <https://www.eafit.edu.co/innovacion/transferecia/Paginas/exoesqueleto-.aspx#:~:text=El%20exoesqueleto%20para%20rehabilitaci%C3%B3n%20es,la%20mano%20en%20forma%20natural>.
- [6] El Español Invertia. *El primer exoesqueleto militar 'made in Spain' reduce la fatiga del soldado y evita lesiones en el campo de batalla.* https://www.lespanol.com/invertia/disruptores-innovadores/disruptores/startups/20230526/primer-exoesqueleto-militar-spain-soldado-lesiones-batalla/766173641_0.html, 2023.
- [7] Evan Ackerman. *The Top 10 Robotics Stories of 2022.* <https://spectrum.ieee.org/top-robotics-stories-2022>, 2022.
- [8] J.A. Aunión. *El País.* <https://elpais.com/eps/2023-05-27/robots-que-sienten-lo-que-tocan.html>, 2023.

- [9] Štěpán Obdržálek, Gregorij Kurillo, Jay Han, Ted Abresch, and Ruzena Bajcsy. Real-time human pose detection and tracking for tele-rehabilitation in virtual reality. In *Medicine Meets Virtual Reality 19*. IOS Press, 2012.
- [10] Brian Weinberg, Jason Nikitczuk, Shyamal Patel, Pattiti B., Constantinos Mavroidis, Paolo Bonato, and Paul Canavan. Design, control and human testing of an active knee rehabilitation orthotic device. 2007.
- [11] Lars Lunenburger, Gery Colombo, Robert Riener, and Volker Dietz. Clinical assessments performed during robotic rehabilitation by the gait training robot lokomat. In *9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005. ICORR 2005*. IEEE, 2005.
- [12] Alberto Quero *El País*. *El primer exoesqueleto infantil es español y ya está listo para su comercialización*. <https://elpais.com/ciencia/2021-05-12/el-primer-exoesqueleto-infantil-es-espanol-y-ya-esta-listo-para-su-comercial.html#>, 2021.
- [13] Agencia EFE. Kiko Huesca *El Mundo*. *El primer exoesqueleto pediátrico es español y está listo para su uso en niños con parálisis cerebral*. <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/ciencia/2021/05/13/609d6770fc6c83a77e8b464b.html>, 2021.
- [14] Andrew(Andrew J.) Valiente. Design of a quasi-passive parallel leg exoskeleton to augment load carrying for walking. 2005.
- [15] Manuel Alejandro Chávez Cardona, Felipe Rodríguez Spitia, and Asfur Baradica López. Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación. *Revista Ingeniería Biomédica*, 2010.
- [16] ALTERTECNIA. *Exoesqueletos y su uso en el sector secundario*. <https://altertecnica.com/exoesqueletos-mejorar-productividad/>.
- [17] IBM. *El modelo de redes neuronales*. <https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/saas?topic=networks-neural-model>, 2021.
- [18] Shuzhen Luo, Ghaith Androwis, Sergei Adamovich, Hao Su, Erick Nunez, and Xianlian Zhou. Reinforcement learning and control of a lower extremity exoskeleton for squat assistance. *Frontiers in Robotics and AI*, 2021.

- [19] Telefónica. *Usos y aplicaciones de la Inteligencia Artificial en robótica*. <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/ usos-y-aplicaciones-de-la-inteligencia-artificial-en-robotica/>, 2023.
- [20] ATRIA innovation. *7 aplicaciones de la visión artificial*. <https://www.atriainnovation.com/siete-aplicaciones-vision-artificial/>, 2019.
- [21] ENIIT. Miguel Camacho. *Estimación de la Pose con Deep Learning*. <https://eniit.es/estimacion-de-la-pose-con-deep-learning/>.
- [22] Joan Reig Doménech. Estudio del estado del arte de los métodos de estimación de la pose humana en 3d, 2018-07-02.
- [23] Ashraf S Gorgey. Robotic exoskeletons: The current pros and cons. *World journal of orthopedics*, 2018.
- [24] aula21. *Python: qué es, para qué sirve y cómo se programa*. <https://www.cursosaula21.com/que-es-python/>.
- [25] Jean Paul Sulca Quispe. *Sensor IoT para la medida del recurso solar disponible en automóviles*. https://oa.upm.es/68827/1/TFG_JeanPaul_Sulca_Quispe.pdf, 2021.
- [26] Innovación y Tecnología. *Exoesqueletos Industriales*. <https://www.innovacion-tecnologia.com/robotica/exoesqueletos/>, 2020.
- [27] Expertos en Sistemas Domóticos HOGARTEC. *Sistemas domóticos centralizados, descentralizados y distribuidos*. <https://hogartec.es/hogartec2/sistemas-domoticos-centralizados-descentralizados-y-distribuidos/>.
- [28] Alberto Plaza, Mar Hernandez, Alba Gutierrez, Jaime Ramos, Gonzalo Puyuelo, Carlos Cumplido, Elena Garces, Marie Andre Destarac, Elena Delgado, and Elena Garcia. Design of a modular exoskeleton based on distributed central pattern generators. *IEEE Systems Journal*, 2022.
- [29] deyde datacentric. *Qué es y qué aplicaciones tiene una red neuronal artificial*. <https://www.datacentric.es/blog/insight/red-neuronal-artificial-aplicaciones/>, 2021.
- [30] Zhadra Kozhamkulova, Bibinur Kirgizbayeva, Gulbakyt Sembina, Ulmeken Smailova, Madina Suleimenova, Arailym Keneskanova, and Zhumakul Baizakova.

MoveNET Enabled Neural Network for Fast Detection of Physical Bullying in Educational Institutions, 2023.

- [31] *MoveNet: Ultra fast and accurate pose detection model*. <https://github.com/tensorflow/hub/blob/master/examples/colab/movenet.ipynb>.
- [32] MediaPipe. Pose landmark detection guide. https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/pose_landmarker.
- [33] Sergio Andres Castaño Giraldo. Todo sobre ziegler nichols – sintonia de control pid. <https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/ziegler-nichols-sintonia-de-control-pid/>.