



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 aerial 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 aerial vehicles*

RF radio frecuencia

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Exoesqueletos	1
1.1.1. Exoesqueletos en rehabilitación	1
1.2. Redes neuronales para detección de posturas	1
2. Objetivos	2
2.1. Descripción del problema	2
2.2. Requisitos	2
2.3. Metodología	2
2.4. Plan de trabajo	2
3. Plataformas de desarrollo y herramientas utilizadas	3
3.1. Lenguajes de programación	3
3.1.1. Python	3
3.1.2. C	3
3.2. Entornos de programación	3
3.2.1. Matlab	3
3.2.2. STM32CubeIde	3
3.2.3. Visual Studio Code	3
3.3. Exoesqueleto	3
3.4. Redes Neuronales	4
3.4.1. Red neuronal Movenet	4
3.4.2. Red neuronal Mediapipe Pose	4
3.4.3. Tablas comparativas de ambos modelos	4
4. Diseño	5
4.1. Recopilación inicial de datos con el exoesqueleto	5
4.2. Desarrollo de la obtención del PID teórico del exoesqueleto	5
4.2.1. Concepto de PID	5

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

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 9

Capítulo 1

Introducción

ToDo...

1.1. Exoesqueletos

ToDo...

1.1.1. Exoesqueletos en rehabilitación

ToDo...

1.2. Redes neuronales para detección de posturas

ToDo...

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://altertecnica.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/transferencia/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/>.