
Instituto Tecnológico de Costa Rica**Escuela de Ingeniería Electrónica****Trabajo Final de Graduación****Proyecto:** Método basado en aprendizaje reforzado para el control automático de una planta no lineal.**Estudiante:** Oscar Andrés Rojas Fonseca

I Semestre 2024

Firma del asesor

Bitácora de trabajo

Fecha	Actividad	Anotaciones	Horas dedicadas
05/02/2024	1. Estudio de la teoría de control para el péndulo amortiguado a hélice (PAMH).	a) Consulta a bibliografía de control automático: Nise (2020) y Ogata (2003). b) Revisión de material multimedia de Anibal Ruiz-Barquero referente al PAMH vía Youtube.	3 horas
06/02/2024	2. Estudio de la teoría de aprendizaje reforzado (RL).	a) Consulta a libros de texto como <i>Data-Driven Science and Engineering</i> (Brunton y Kutz, 2021). b) Revisión de material multimedia de Steven Brunton vía Youtube.	3 horas
06/02/2024	3. Revisión bibliográfica de algoritmos de aplicación de aprendizaje automático.	a) Consulta al libro <i>Reinforcement Learning: An introduction</i> (Sutton y Barto, 2020) para mayor detalle. b) Revisión de otros métodos de aprendizaje automático. c) Ejemplos de implementación de las redes neuronales recurrentes (RNN) por Patrick Loeber vía Youtube y la tesis de graduación de Jorge Brenes.	3 horas

07/02/2024	4. Revisión de repositorios en línea de métodos de aplicación de aprendizaje automático.	a) Búsqueda preliminar de repositorios generales de RL mediante Github. b) Selección de códigos con enfoques similares al control del PAMH.	5 horas
09/02/2024	5. Creación del ambiente de trabajo anaconda para montaje de la red neuronal mimetizadora (RNAS).	a) Revisión de bibliotecas utilizadas por el código base de la RNAS. b) Instalación/revisión de versiones adecuadas de <i>Python</i> , <i>ArgumentParser</i> , <i>Numpy</i> , <i>Matplotlib</i> , <i>TensorFlow</i> y <i>Weights&Biases</i> .	2 horas
09/02/2024	6. Pruebas de funcionamiento de la red neuronal mimetizadora (Synthetic-PAMH.py).	a) Estudio del código de la RNAS. b) Error en el proceso por falta de cuenta y permisos del autor en W&B. c) Creación de cuenta y proyecto en W&B.	3 horas
09/02/2024	7. Estudio del funcionamiento de la herramienta Weights & Biases (W&B).	a) Revisión de material en línea sobre el uso de W&B. b) Ejemplos de implementación de W&B.	2 horas
Total de horas de trabajo:			21 horas

Contenidos de actividades

Resumen de teoría PAMH

El péndulo amortiguado a hélice corresponde a una planta de laboratorio compuesta de un motor con hélice controlado por torque, una masa pequeña, péndulo y soportes de aluminio de baja fricción. Un modelo simplificado del sistema se muestra en la Figura 1 [1].

El objetivo de dicho sistema es controlar la magnitud del ángulo θ_p , únicamente ejerciendo torque al accionar a una distancia l_m el motor con una fuerza F_m y movimiento de su masa m_m , mientras a una distancia de l_p del centro se encuentra una masa m_p que contrarresta el movimiento.

De manera que al analizar el sistema con sumatoria de torques se obtiene la constante

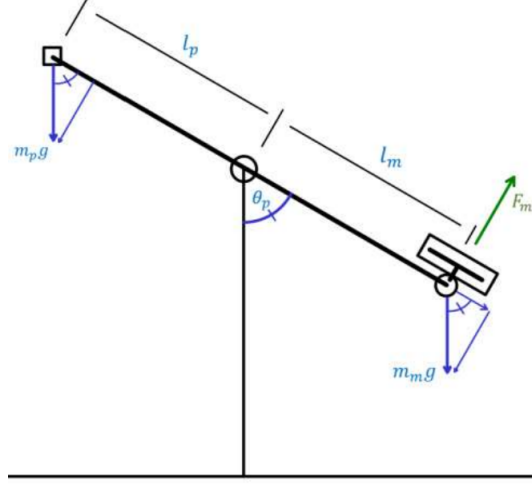


Figure 1: Modelo simplificado del PAMH.

de rosamiento central B (en caso de existir) junto con la inercia ejercida J_p . Por lo tanto, se definen las variables de estado siguientes y sus ecuaciones de estado mostradas en 1 [2].

$$\begin{aligned} x_1 &= \theta_p & x_2 &= \dot{\theta}_p & y &= x_1 = \theta_p \\ \left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -\frac{B}{J_p}x_2 + (m_p l_p - m_m l_m) \frac{g}{J_p} \text{sen}(x_1) + \frac{l_m}{J_p} F_m \end{array} \right. \end{aligned} \quad (1)$$

Resumen de teoría RL

Al estudiar el concepto de aprendizaje reforzado y los diferentes métodos y algoritmos que corresponden a este tipo de aprendizaje automático, se obtiene el resumen de la Figura 2, en donde se muestra que las principales secciones son el RL basado en modelo y el libre de modelo. De igual forma se cuenta con el aprendizaje reforzado profundo (DRL), una combinación y reestructuración de métodos de cada subdivisión [3].

De igual manera, los avances en la investigación de diferentes métodos como las redes neuronales recurrentes (RNN), ejemplificado por Mamba [4], ha mostrado la capacidad de optimización del desempeño de estas para llegar a competir con los modelos basados en *Transformer*.

Ambiente de trabajo anaconda para la RNAM

Luego de una revisión rápida del código perteneciente al repositorio del trabajo de Jorge Brenes, se instalaron versiones de bibliotecas necesarias para el funcionamiento de los registros, resultando en una lista simplificada como la mostrada en la Figura 3.

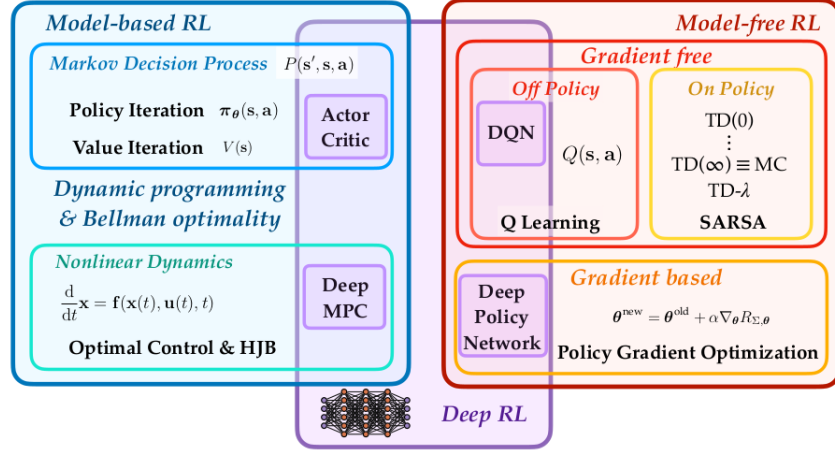


Figure 2: Resumen de categorización del RL [3].

```
(TFG1) ojcah@ojcah-Asus:~$ conda list | grep -E 'matplotlib|python|tensorflow|keras|numpy|pandas|argparse'
gitpython          3.1.41             pypi_0    pypi
keras               2.11.0            py310h06a4308_0
keras-preprocessing 1.1.2             pyhd3eb1b0_0
matplotlib          3.8.0             py310h06a4308_0
matplotlib-base     3.8.0             py310h1128e8f_0
numpy               1.26.3            py310h5f9d8c6_0
numpy-base          1.26.3            py310hb5e798b_0
pandas              2.1.4             py310h1128e8f_0
python              3.10.13           h7a1cb2a_0
python-dateutil     2.8.2             pyhd3eb1b0_0
python-flatbuffers  2.0               pyhd3eb1b0_0
python-tzdata       2023.3            pyhd3eb1b0_0
tensorflow           2.11.0            mkl_py310hb40ee82_0
tensorflow-base     2.11.0            mkl_py310he5f8e37_0
tensorflow-estimator 2.11.0            py310h06a4308_0
(TFG1) ojcah@ojcah-Asus:~$
(TFG1) ojcah@ojcah-Asus:~$
(TFG1) ojcah@ojcah-Asus:~$
```

Figure 3: Lista simplificada de bibliotecas del *environment* TFG1.

Referencias

- [1] A. Castaño Hernández, J. P. Moreno Beltrán, J. F. Hernández Pérez, and R. Villafuerte Segura, “Diseño y control de un sistema balancín con motor y hélice de bajo costo,” *ICBI*, vol. 5, 2018.
- [2] K. Ogata, *Ingeniería de Control Moderna*, 5th ed. Madrid: Pearson Educación, 2010.
- [3] S. L. Brunton and J. N. Kutz, *Data-Driven Science and Engineering*. Cambridge University Press, 2021.
- [4] A. Gu and T. Dao, “Mamba: Linear-time sequence modeling with selective state spaces,” *Cornell University, Arxiv*, 2023.