

Diseño de un gemelo digital basado en la integración IoT-IA: Caso de uso en el proyecto CANNADIG

F.J., Ferrández-Pastor¹, S., Alcañiz-Lucas¹, S., Pardo-Pina², H., Puerto², C., Rocamora² y J.M. Cámara-Zapata²

¹ Grupo I2RC, EPS Universidad de Alicante, Carretera San Vicente s/n 03690

² Instituto de Investigación en Innovación Agroalimentaria y Agroambiental, CIAGRO, Universidad Miguel Hernández, Ctra de Beniel, s/n, 03312, Orihuela, Alicante

Introducción

Los gemelos digitales son representaciones virtuales de sistemas físicos que permiten simular, monitorear y analizar datos en un entorno virtual. Su diseño, utilizando tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA), ofrece nuevas herramientas para su desarrollo. La integración de modelos físicos, IoT y IA facilita la creación de representaciones virtuales de sistemas físicos, permitiendo su simulación, análisis y optimización en tiempo real, adaptándose a diversos escenarios. En particular, el aprendizaje por refuerzo, un paradigma de IA, destaca por su adaptabilidad y amplitud en condiciones específicas, mostrando mejoras significativas en tareas de aprendizaje automático y control de sistemas complejos, como invernaderos autónomos.

Materiales y métodos

Para la implementación de gemelos digitales en un invernadero previamente automatizado para el cultivo de cáñamo industrial en maceta, se instalaron sensores IoT para recopilar datos ambientales y de la planta en tiempo real, almacenados en formato csv. Se ajustó un modelo térmico basado en la temperatura exterior y la energía de climatización. Se desarrolló un algoritmo de "aprendizaje por refuerzo" mediante Q-Learning para gestionar el consumo energético y la temperatura del invernadero. El algoritmo ajusta acciones según la experiencia y las recompensas esperadas, maximizando la función Q para minimizar el consumo de energía. El personal técnico del invernadero programa "setpoints" de temperatura según las necesidades del cultivo, registrando también datos climáticos externos y consumo eléctrico. El sistema permite analizar estrategias de control para optimizar el consumo de energía y minimizar el uso de la bomba de calor del invernadero.



Figura 1. Sensores IoT para recopilación de datos ambientales y riego en maceta para el cultivo del cáñamo. Proyecto CANNADIG.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo es el ajuste en una tabla de valores Q obtenidos cada día, se muestra un ejemplo en la figura 2. En la tabla se señala que a las 15:00h la mejor acción posible es la que marca un "setpoint" disminuido en 3 o 4 grados, para el registro de la temperatura máxima a la cual la bomba de calor debe actuar. La actualización de la temperatura permite disminuir el número de conexiones de la bomba de calor llegando a ahorros del 30% diarios en función de la evolución de la temperatura en el exterior. La tabla Q muestra las mejores acciones de control posibles a aplicar con las condiciones externas capturadas en la predicción meteorológicas.

Conclusiones

El diseño del gemelo digital propuesto representa un ejemplo de construcción de otros gemelos digitales que permitan el modelado del crecimiento de la planta ante acciones como el riego, iluminación y condiciones ambientales. De los resultados obtenidos se concluye la validación del modelo de integración de tecnología IoT y el paradigma de aprendizaje por refuerzo (RL) que parte de modelos numéricos del comportamiento térmico específico del invernadero y de la predicción de la evolución en la temperatura exterior para obtener de ese modo la temperatura de consigna que minimiza el consumo energético manteniendo los valores de temperatura en el interior programados.

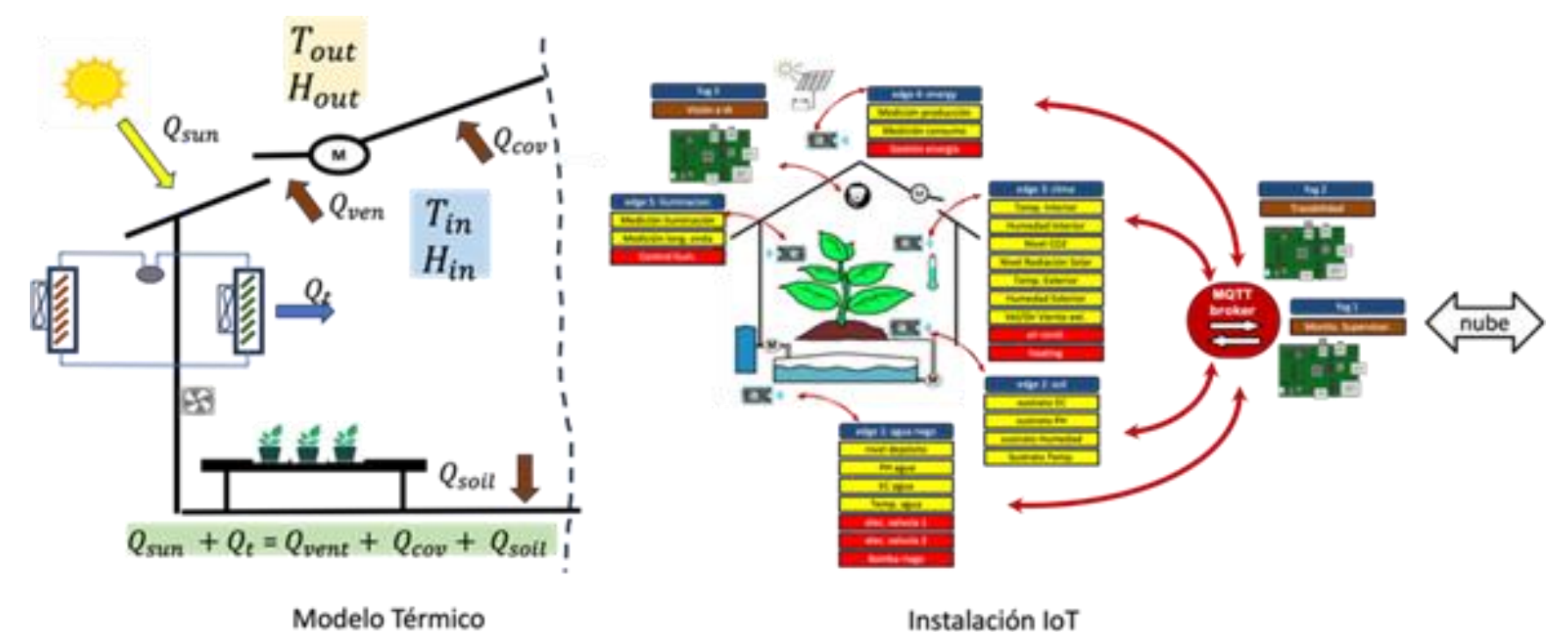


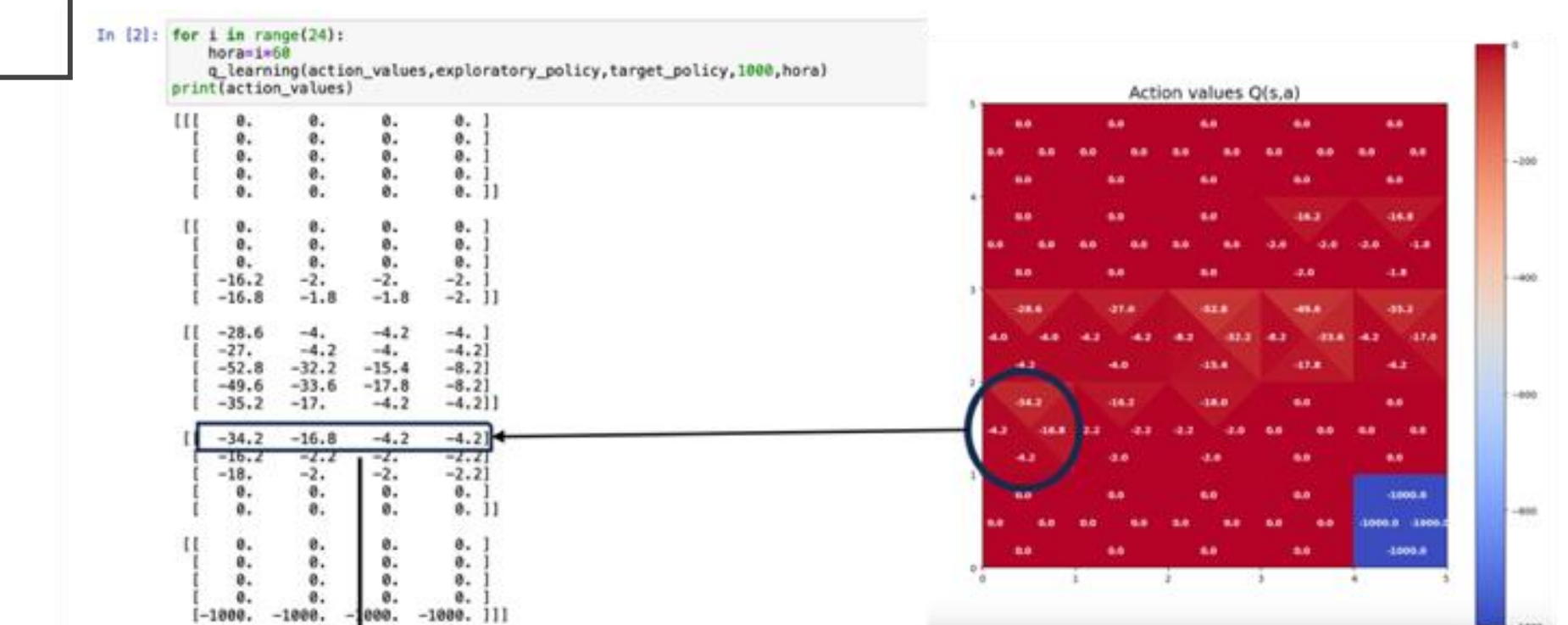
Figura 2. Modelo térmico y despliegue IoT

Referencias bibliográficas

- Abualigah, L., Diabat, A., Mirjalili, S., Elaziz, M. A., & Gandomi, A. H. 2022. Deep Reinforcement Learning for Integrated Non-Linear Control of Autonomous UAVs. *Processes*, 10(7), 1307.
- Fatima, K., Hussain, S., Khan, S.A., Khan, M.A., Saleem, S.R., Kanwal, S. 2022. Digital Twin Greenhouse Technologies for Commercial Farmers, 23(1), 33.
- Nakatani, Y., Kajiwara, T., & Ninomiya, T. 2022. Comparing BERT-based Reward Functions for Deep Reinforcement Learning in Machine Translation. In *Proceedings of the 9th Workshop on Asian Translation*, 37–43. International Conference on Computational Linguistics.
- Zhang, W., Cao, X., Yao, Y., An, Z., Luo, D., & Xiao, X. 2021. Robust Model-based Reinforcement Learning for Autonomous Greenhouse Control. *ArXiv*, abs/2108.11645.

Agradecimientos

Este estudio forma parte del programa AGROALNEXT (AGROALNEXT/2022/048) y ha sido apoyado por MCIN con financiación de la Unión Europea NextGenerationEU (PRTR-C17.I1) y de la Generalitat Valenciana.



A las 15:00 h

$$\begin{cases} Q1 = -34.2, a_1 \rightarrow T_{setpoint} = (T_{max}-1) \\ Q2 = -16.8, a_2 \rightarrow T_{setpoint} = (T_{max}-2) \\ Q3 = -4.2, a_3 \rightarrow T_{setpoint} = (T_{max}-3) \\ Q4 = -4.2, a_4 \rightarrow T_{setpoint} = (T_{max}-4) \end{cases}$$

Figura 3. Resultados en la aplicación del algoritmo y escenario de aplicación