

強化學習應用於圖書館空調節能控制

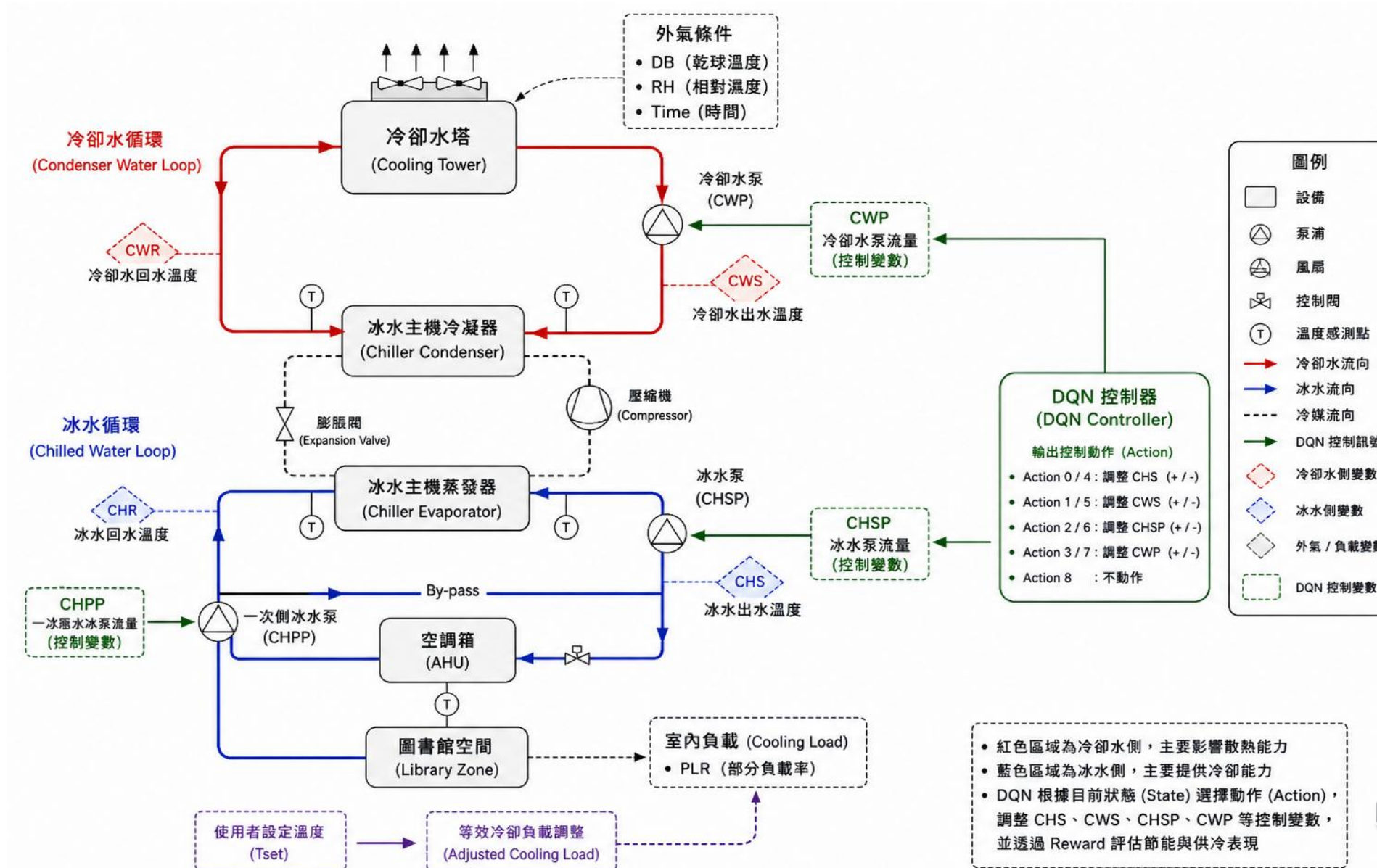
本專題利用圖書館空調歷史資料建立模擬環境，並使用強化學習控制策略，最後透過 GUI 呈現控制結果與功耗變化。

姓名：黃若慈

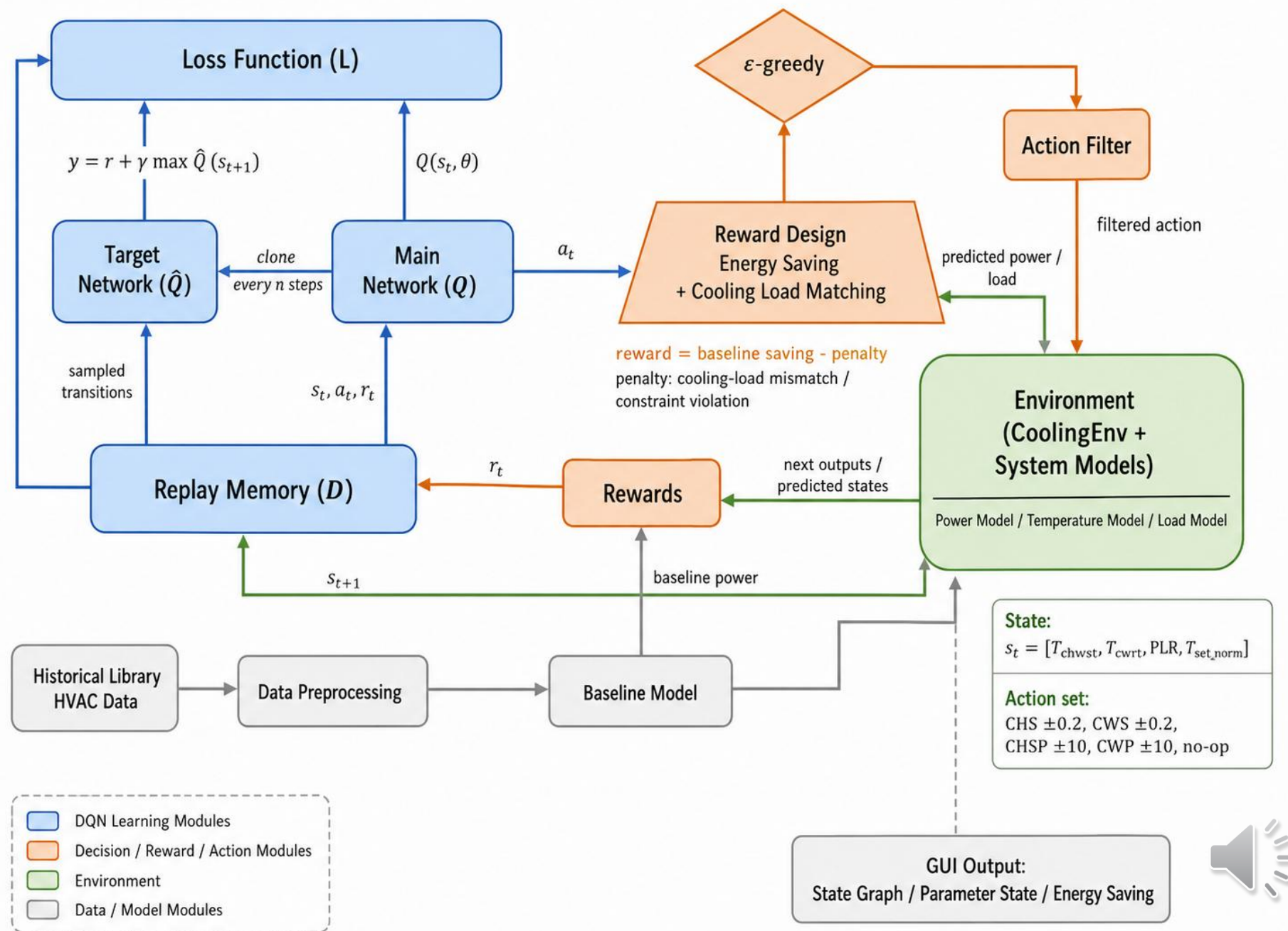
組別：c-19



系統架構



系統架構



系統架構

1. 建立空調模擬環境

用圖書館歷史資料訓練 baseline model、power model、temperature model、load model 讓程式可以模擬空調系統運作。

2. 強化學習控制

把 DQN agent 放進這個環境裡，讓它一直嘗試不同控制動作，根據 reward 判斷哪些動作比較省電。經過多次 episode 訓練後，DQN 會逐漸學習出較佳的控制策略。

state → DQN 選 action → env 回傳 reward → DQN 更新策略



系統代號

OA TEMP	外氣乾球溫度
OA RH	外氣相對濕度
CHS	冰水出水溫度
CHR	冰水回水溫度
CWS	冷卻水出水溫度
CWR	冷卻水回水溫度
CWP	冷卻水泵控制量
CHSP	冰水泵控制量
PLR	部分負載率。DQN 的 state 之一，代表目前空調系統負載程度。
CC	Cooling Capacity(供冷能力)



模型設計

Baseline Model

作用：在原本操作條件下，預測系統應該耗多少電。

baseline 使用二次回歸：

- Baseline Power

$$= f(T_chwst, T_cwrt, PLR)$$

$$= C0 + C1*T_chwst + C2*T_cwrt + C3*PLR + C4*T_chwst^2 + C5*T_cwrt^2 + C6*PLR^2 + \\ C7*T_chwst*T_cwrt + C8*T_cwrt*PLR + C9*T_chwst*PLR$$

- $saving_reward = \alpha * (baseline_power - predicted_power)$

如果 DQN 控制後的 power 比 baseline 低，reward 就比較高。



模型設計

1. Power Model

作用：採用 MLP 神經網路模型，根據空調系統狀態與控制後變數預測系統功耗，作為 DQN 評估控制動作是否節能的依據。

$\text{predicted_power} = \text{NN_PowerModel}(\text{CHS}, \text{T_cwrt}, \text{PLR}, \text{CWS}, \text{CWR}, \text{CHSP}, \text{CWP})$

2. Temperature Model

作用：採用 MLP 神經網路模型，並加入外氣溫度 DB 與外氣濕度 RH，用來預測下一個 time step 的冷卻水回水溫度。

$\text{predicted_T_cwrt} = \text{NN_TemperatureModel}(\text{CHS}, \text{T_cwrt}, \text{PLR}, \text{DB}, \text{RH})$



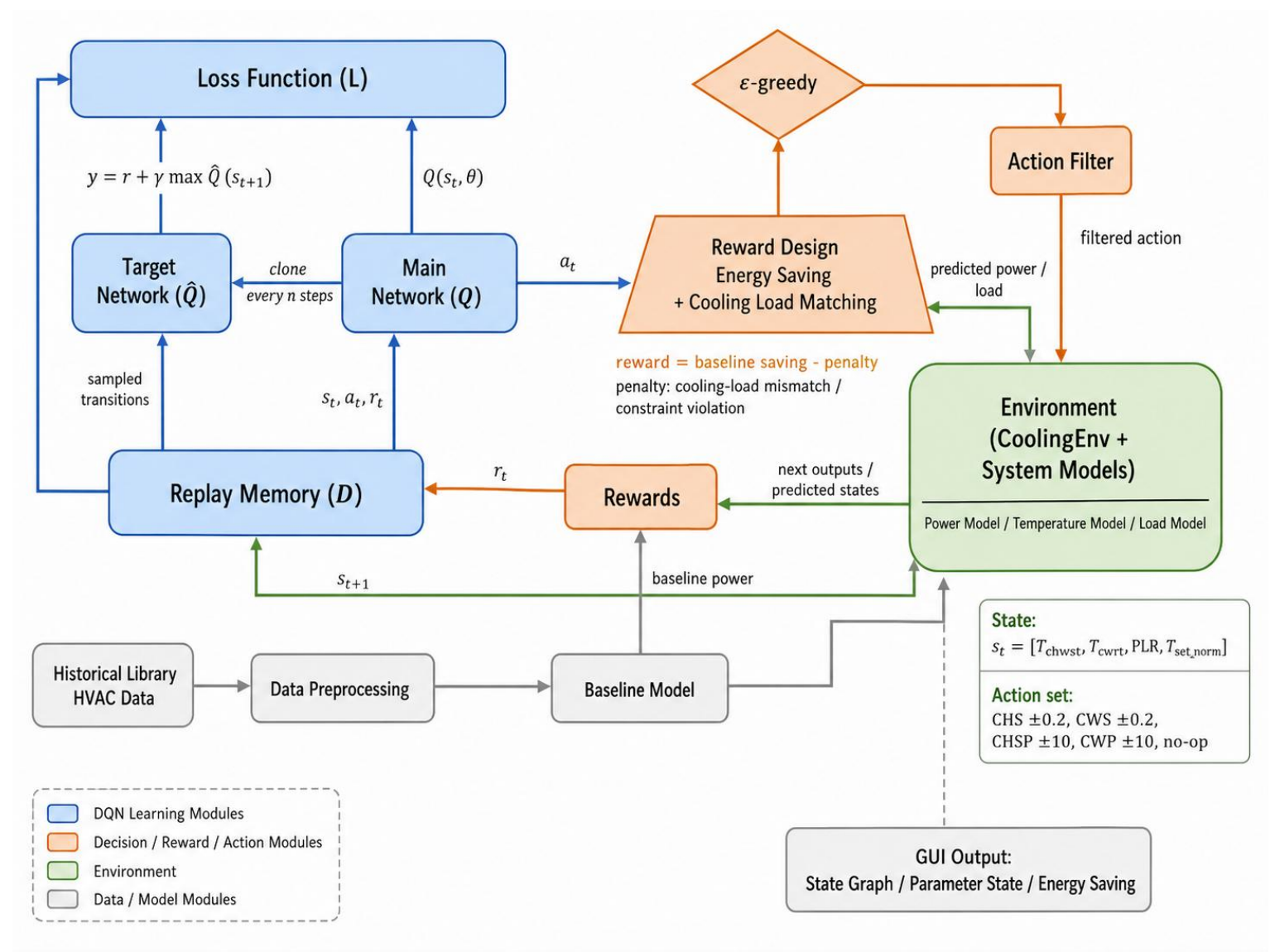
模型設計

3. Load Model

作用：採用 MLP 神經網路模型，預測下一個 time step 的PLR（部分負載率），空調系統目前負載相對於最大容量的比例。預測出來的 predicted_next_PLR 會放進 DQN 的 next_state，讓 DQN 下一步可以根據新的負載狀態繼續決策。

$$\text{predicted_next_PLR} = \text{NN_LoadModel}(\text{CHS}, \text{T_cwrt}, \text{PLR}, \text{CWS}, \text{CWR})$$
$$\text{PLR} = \text{實際負載} / \text{最大容量}$$


DQN 訓練架構



Action Space

DQN 選擇控制動作，在每一個 time step 決定如何調整參數。

Action ID	動作意思	調整內容
0	提高 CHS	$\text{CHS} + 0.2$
1	提高 CWS	$\text{CWS} + 0.2$
2	提高 CHSP	$\text{CHSP} + 10$
3	提高 CWP	$\text{CWP} + 10$
4	降低 CHS	$\text{CHS} - 0.2$
5	降低 CWS	$\text{CWS} - 0.2$
6	降低 CHSP	$\text{CHSP} - 10$
7	降低 CWP	$\text{CWP} - 10$
8	不動作	維持原本狀態



Action Filter

1. 檢查 DQN 選出的 action 會不會讓控制變數超出合理範圍
2. 如果超出範圍，就取消該 action，改成 action 8：不動作

控制變數	篩選條件	若超出範圍
CHS	$6 \leq \text{CHS} \leq 16$	回復原本 CHS，並標記 filtered
CWS	$13 \leq \text{CWS} \leq 35$	回復原本 CWS，並標記 filtered
CHSP	$\text{CHSP} \geq 0$	回復原本 CHSP，並標記 filtered
CWP	$\text{CWP} \geq 0$	回復原本 CWP，並標記 filtered



Reward Function

$$\text{Reward} = \text{Saving Reward} - \text{Cooling Penalty} - \text{Filter Penalty}$$

1 .Saving Reward

公式：Saving Reward = $\alpha \times (\text{baseline_power} - \text{predicted_power})$

作用：用來衡量 DQN action 是否降低系統功耗。

2 .Cooling Penalty

公式：Cooling Penalty = $\beta \times |\text{CC} / \text{adjusted_cooling_load} - \text{target_ratio}|$

作用：檢查供冷能力是否接近冷卻需求

3 . Filter Penalty

作用：檢查 DQN 的 action 是否讓變數超出合理範圍，懲罰超出合理範圍的 action。



Cooling Load / Cooling Capacity

Cooling Load：目前空間需要的冷卻量

Cooling Capacity(CC)：空調系統實際提供的供冷能力

目的：避免 DQN 只為了省電而造成供冷不足或過度供冷。

理想狀態：Cooling Capacity $\approx$ Cooling Load

$$CC = CHSP \times 4.186 \times (CHR - CHS)$$

$$\text{Cooling Penalty : Penalty} = \beta \times |CC / \text{adjusted_cooling_load} - \text{target_ratio}|$$

Cooling Load 使用資料中的 System_RT，代表該時間點圖書館空調系統的冷卻需求。



使用者設定溫度 Tset 的處理方式

Tset 較低 → 使用者希望更冷 → adjusted cooling load 增加

Tset 較高 → 使用者允許較高溫 → adjusted cooling load 降低

公式： $\text{adjusted_cooling_load} = \text{cooling_load} \times [1 + 0.05 \times (24 - Tset)]$

Train Tset = GUI 設定溫度 ± 5°C

限制範圍：18°C ~ 30°C

Tset	解釋	adjusted cooling load
Tset < 24	使用者希望更冷	冷卻需求提高
Tset = 24	基準設定	冷卻需求不變
Tset > 24	使用者允許較高溫	冷卻需求降低



Main Network 與 Target Network

Main Network：根據目前 state，估計每個 action 的 Q-value。

Target Network：計算較穩定的 target Q-value。

公式： $\text{target_q} = r_t + (1 - \text{done}) \gamma \max_a Q_{\text{target}}(s_{t+1}, a)$

Loss Function

目的：用來衡量 Main Network 預測的 Q-value 與 Target Network 產生的 target_q 之間的誤差。

公式： $L = [Q_{\text{main}}(s_t, a_t) - \text{target_q}]^2$



ϵ -greedy

以 ϵ 機率隨機選 action 進行探索，以 $1-\epsilon$ 機率選擇 Q-value 最大的 action。

訓練初期 epsilon 較高，Agent 會較常隨機選 action，嘗試不同控制方式；隨著訓練進行，epsilon 逐漸降低，Agent 會越來越依賴 Main Network 輸出的 Q-value，選擇目前預期價值最高的 action。



主頁面

以 Streamlit 開發的 Web-based GUI 互動式模擬介面

Parameter Setting

Set Temperature Tset (°C)
24.00

Training Episodes
100

HVAC RL Control Simulation

Simulation Parameter Setting

Simulation

State Graph

Train DQN

Run Simulation

Random Reset

Reset

Deploy



主頁面

Parameter Setting

Set Temperature Tset (°C)

25.00

Training Episodes

100

- +

HVAC RL Control Simulation

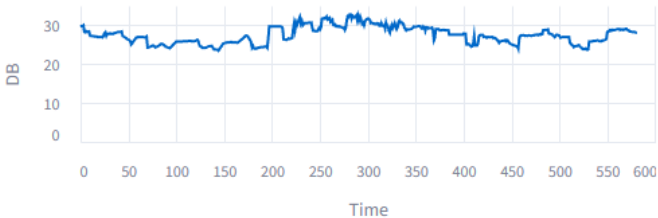
Simulation Parameter Setting

Simulation

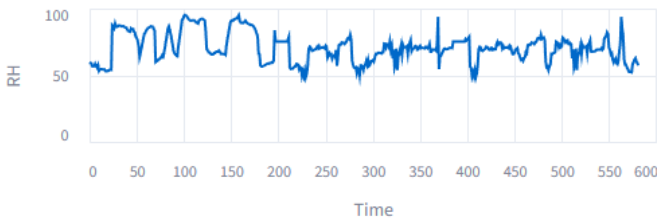
用圖表顯示空調系統在模擬過程中，
各個狀態參數隨時間的變化。

State Graph

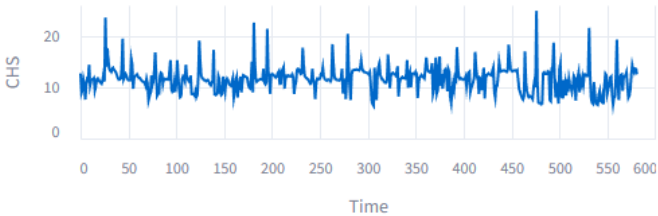
DB



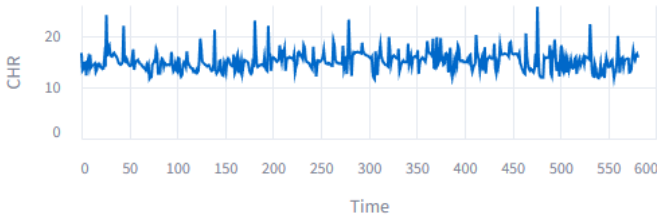
RH



CHS



CHR



目前模擬到某一個時間
點時，空調系統的即時
狀態數值

Parameter State

TIME

581

Tset

25.0 °C

DB

28.10

RH

57.30

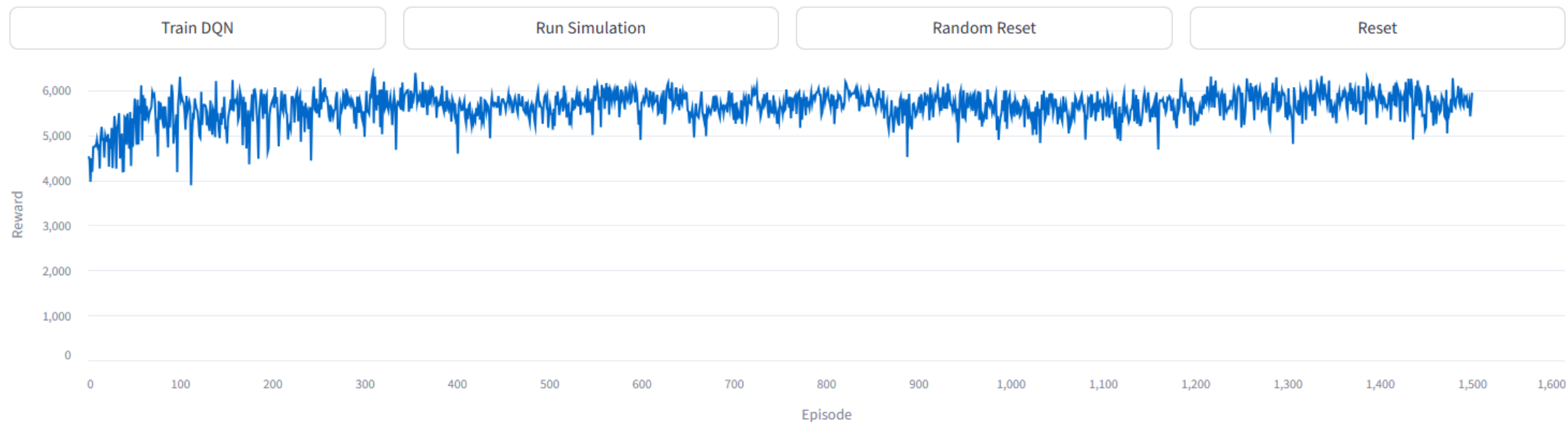
CHS

12.50



主頁面

State Graph



Episode 1500 / 1500 | Reward: 5947.26 | Loss: 9063.57631 | Epsilon: 0.050

DQN 在訓練過程中，每一輪 episode 得到的總 reward 變化。



主頁面

Summary

Original Total Energy

283568.69

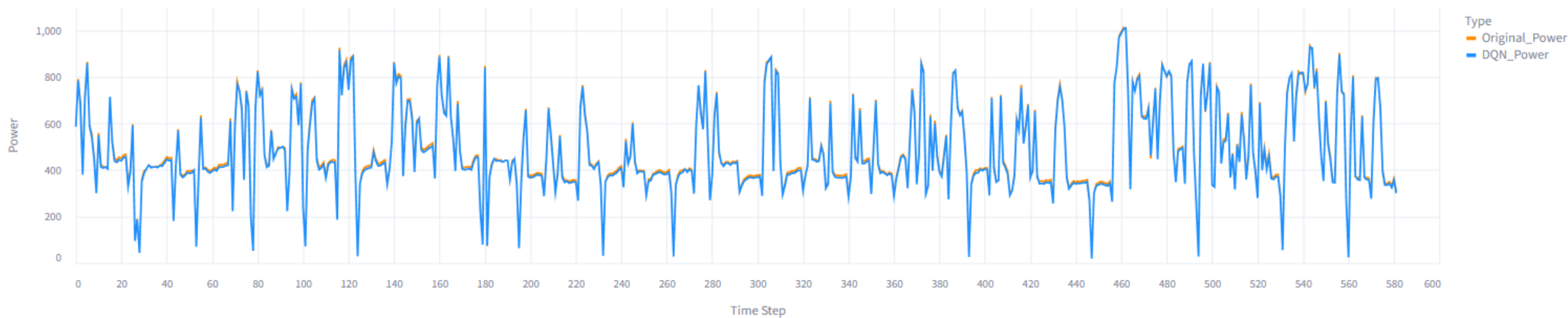
DQN Total Energy

279937.19

Energy Saving

1.28%

Power Comparison



Original Power(kwh)：讀取原始資料後，透過 Power Model 預測該時間點的系統功耗

DQN Power (kwh)：在 DQN調整 action 後，透過 Power Model 預測該時間點的系統功耗



主頁面

Simulation Data

	time_step	DB	RH	CHS	CHR	CWS	CWR	PLR	Cooling_Load	Original_Power	DQN_Power	DQN_Action	DQN_Reward
0	0	29.6	59.8	12.7	16.7	34.2	29.3	0.7712	694.1	612.662	610.1369	3	-13.1186
1	1	29.8	59.1	8.9	13.3	35.4	30.2	0.8971	807.35	752.1322	752.1322	3	9.8305
2	2	29.8	58.9	9.5	13.6	34.6	29.6	0.7886	709.7183	688.2918	625.4426	2	38.8527
3	3	30	56.7	11.5	14.7	32.2	28.2	0.492	442.7833	354.2224	351.9173	5	53.7165
4	4	28.3	56.8	10.5	14.8	35.1	29.9	0.862	775.82	760.5116	760.5116	8	-63.2567
5	5	28.2	56.8	7.6	12.3	35.6	30.3	0.9642	867.76	772.9328	772.9328	5	71.3996
6	6	28.5	58.5	10.5	14.5	32.7	28.3	0.7409	666.8117	607.7339	597.3455	2	-33.7269
7	7	28.4	56.9	11.6	15.4	32.1	27.3	0.7143	642.8467	600.6857	600.6857	5	-116.8375
8	8	28.3	55.7	11.4	14.2	33.3	28.8	0.4862	437.62	384.4776	384.4776	8	38.2692
9	9	28.4	57.5	14.4	16.4	31	27.2	0.3013	271.125	474.8542	474.8542	4	-275.9778

Export Result CSV

在使用者設定 Tset 溫度後，DQN 控制模擬過程中，每個時間點的完整系統狀態。



模擬結果

Tset	Original Energy	DQN Energy	Energy Saving
23.0 °C	283925.64	279930.73	1.41%
24.0 °C	283568.69	279937.19	1.28%
25.0 °C	283017.01	279943.98	1.09%
26.0 °C	282659.82	279940.18	0.96%
27.0 °C	282013.41	279948.89	0.73%
28.0 °C	280610.18	279932.70	0.24%

