

智慧空調系統：深度強化學習助力節能與舒適調控

Smart Cooling: Deep Reinforcement Learning helps energy saving and comfort control

指導老師

蘇銓清 教授

專題成員

邱聖佐

Motivation

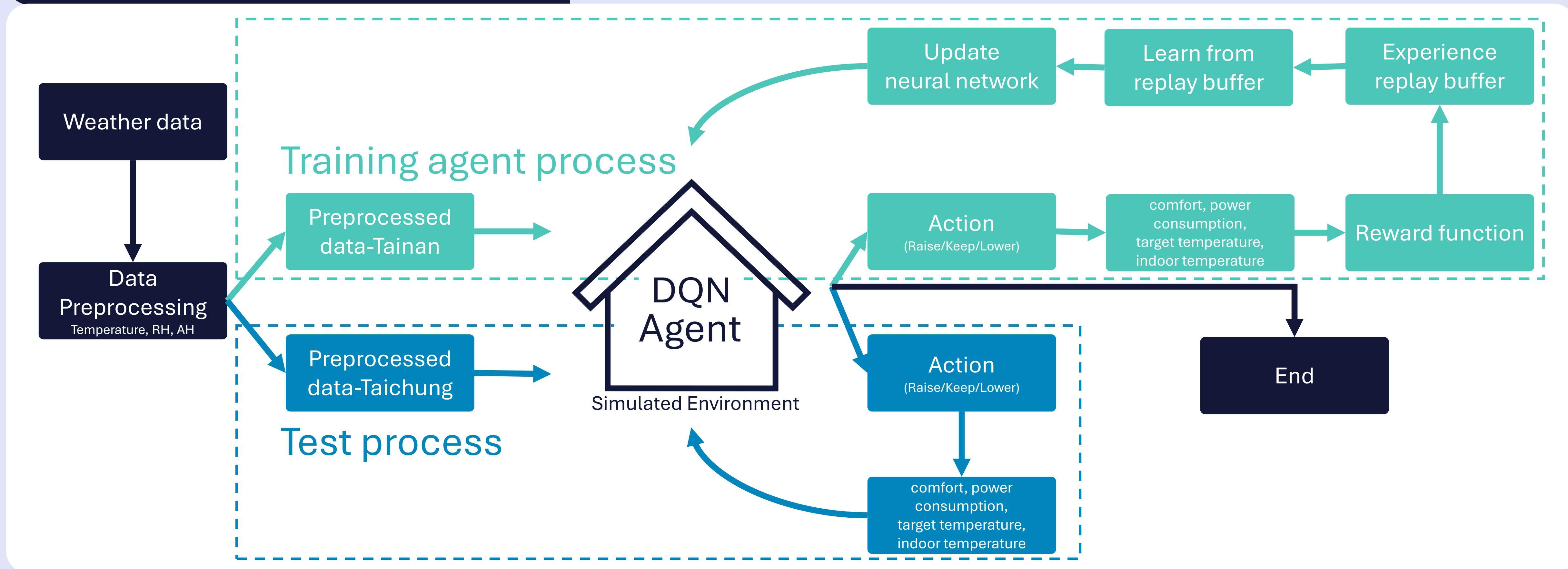
社會與環保

政府積極推動節能減碳政策，空調用電則是建築耗能的主要來源之一。但目前多數機關仍以固定時段與固定溫度操作冷氣，缺乏即時調整機制，**難以兼顧舒適與節能**。能自動反應環境變化的智慧控制系統，有助於實現舒適與碳減排的雙重目標。

內在動機

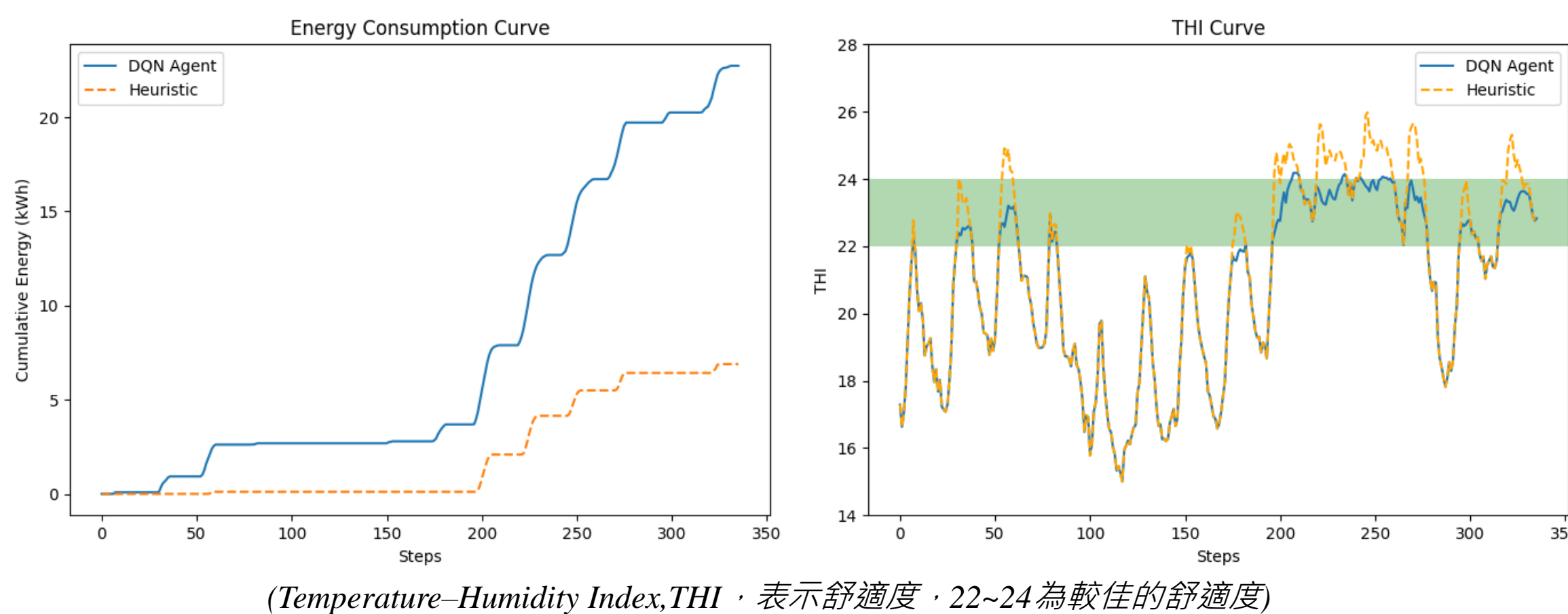
冷氣的目的是為了舒適，但實際常常過冷或不夠涼，調整溫度既不直覺也會影響到耗電量與能源成本。我希望開發一套智慧系統，讓電腦能自動學習如何調整溫度，在舒適與節能之間取得平衡，減少人工干預，達成真正聰明的空調控制。

Model Architecture

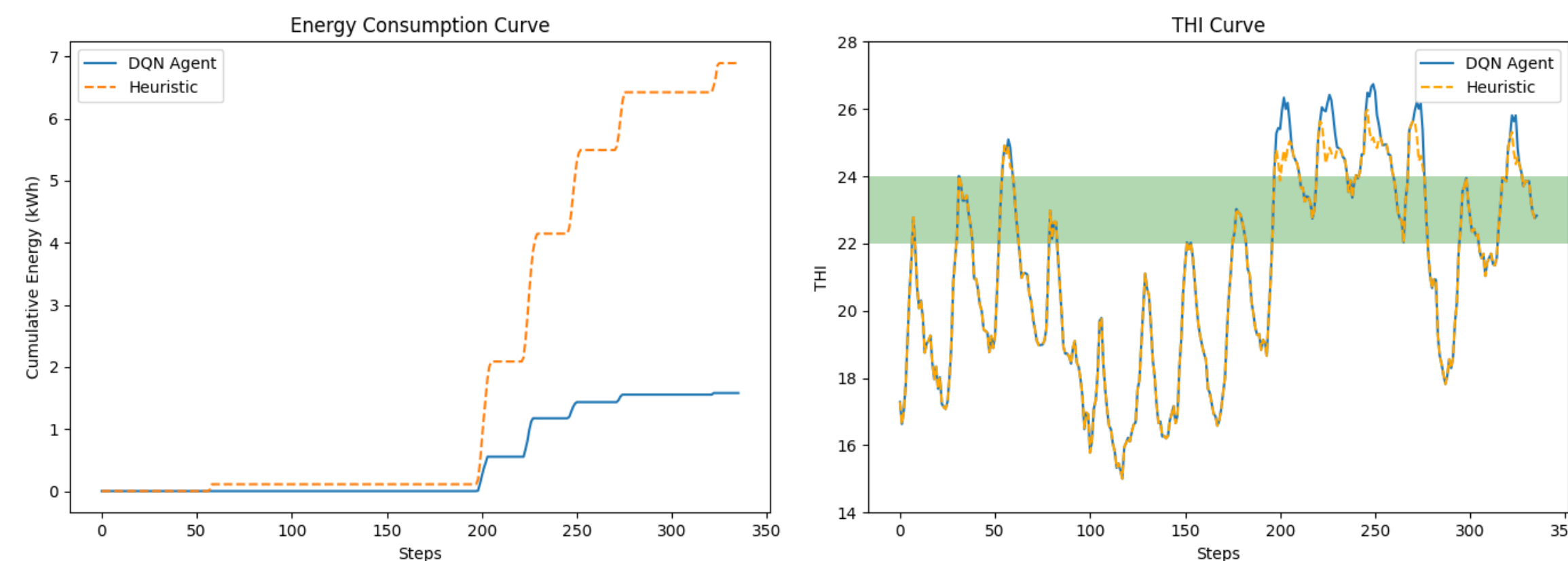


Results

Comfort Version



Green Version



本研究通過兩組參數設定分別進行 20 次試驗後平均，評估模型表現，(左圖為分別 1 次試驗結果適意圖)，權重係數分別為：

Comfort Version: $a = 0.7$, $b = 0.3$ (偏重舒適度)

Green Version: $a = 0.3$, $b = 0.7$ (偏重節能)

策略	平均耗電量(kWh)	標準差	配對 t 檢定 (與 Heuristic 比較)
Comfort Version	49.801	41.001	$t = 6.271$, $p = 0.000$
Green Version	5.737	7.130	$t = -4.460$, $p = 0.000$
Heuristic	20.848	21.668	-

說明：Comfort Version 的 DQN 模型在追求舒適度下耗電顯著增加。

策略	最佳舒適度平均占比	標準差	配對 t 檢定 (與 Heuristic 比較)
Comfort Version	0.274	0.228	$t = 3.687$, $p = 0.002$
Green Version	0.155	0.111	$t = -3.067$, $p = 0.006$
Heuristic	0.160	0.115	-

說明：在最佳舒適區間內，Green Version 的 DQN 模型顯著低於 Heuristic 策略。

Conclusion

我將政府現行的策略(Heuristic)與兩種控制策略比較，結果顯示：

- Comfort Version**：提升最佳舒適度占比 (0.274 vs. 0.160)，但耗電量較高 (49.801 kWh vs. 20.848 kWh)。
- Green Version**：能耗大幅降低 (5.737 kWh vs. 20.848 kWh)，但最佳舒適度占比略低 (0.155 vs. 0.160)。

所有配對 t 檢定均達到顯著水準 ($p < 0.01$)，證明各指標間的差異不是由隨機波動引起，而是真實反映了不同策略下的效能變化。

整體而言，DQN 策略可依需求靈活調整，實現能耗與舒適度的最佳平衡。若參數調整適宜能達成在舒適度相似的情況下更節能。

Future Directions

- 探索 **Rainbow DQN** 等進階演算法，提升學習穩定性與策略表現
 - 增加 action space：可一次調整多步
 - Multi-step Learning：觀察長期依賴
- 結合**時段電價政策**，於不同時段進行自動節能調節
- 納入**使用者即時回饋**，動態調整 reward，實現個人化控制
- 擴展為 **multi-zone** 控制模型，模擬建築內部熱流傳遞
- 整合**溫濕度感測器**，應用於實際空間，提升自動化程度

References

Buck, A. L. (1981). New equations for computing vapor pressure and enhancement factor
E. C. Thom (1959) The Discomfort Index
T Schaul, J Quan, I Antonoglou, D Silver (2016) Prioritized Experience Replay