



基於深度強化式學習之智慧玻璃控制

Smart Glass Control

via Deep Reinforcement Learning

學生：劉承祐

指導教授：蘇銓清

一、研究動機與目的

智慧玻璃動態調光可提升室內人眼視覺舒適度與建築節能效率，但傳統規則式控制受限於固定控制邏輯，難以感知外部環境的動態變化趨勢，在光照條件快速變化時易引發頻繁切換與眩光等視覺不適問題。相較之下深度強化式學習可透過與環境互動逐步學習控制策略，較適合應用於具有時序性與不確定性的控制問題。本研究以室內人眼視覺舒適控制為核心，進一步探討不同控制方法在不同氣候變化與外部環境擾動下的適應性與穩健性。

二、實作技術與環境

開發環境

作業系統：Windows 10

處理器：Intel64 Family 6，RAM 16 GB

GPU：NVIDIA RTX 4060 Laptop 8GB VRAM

核心框架與工具

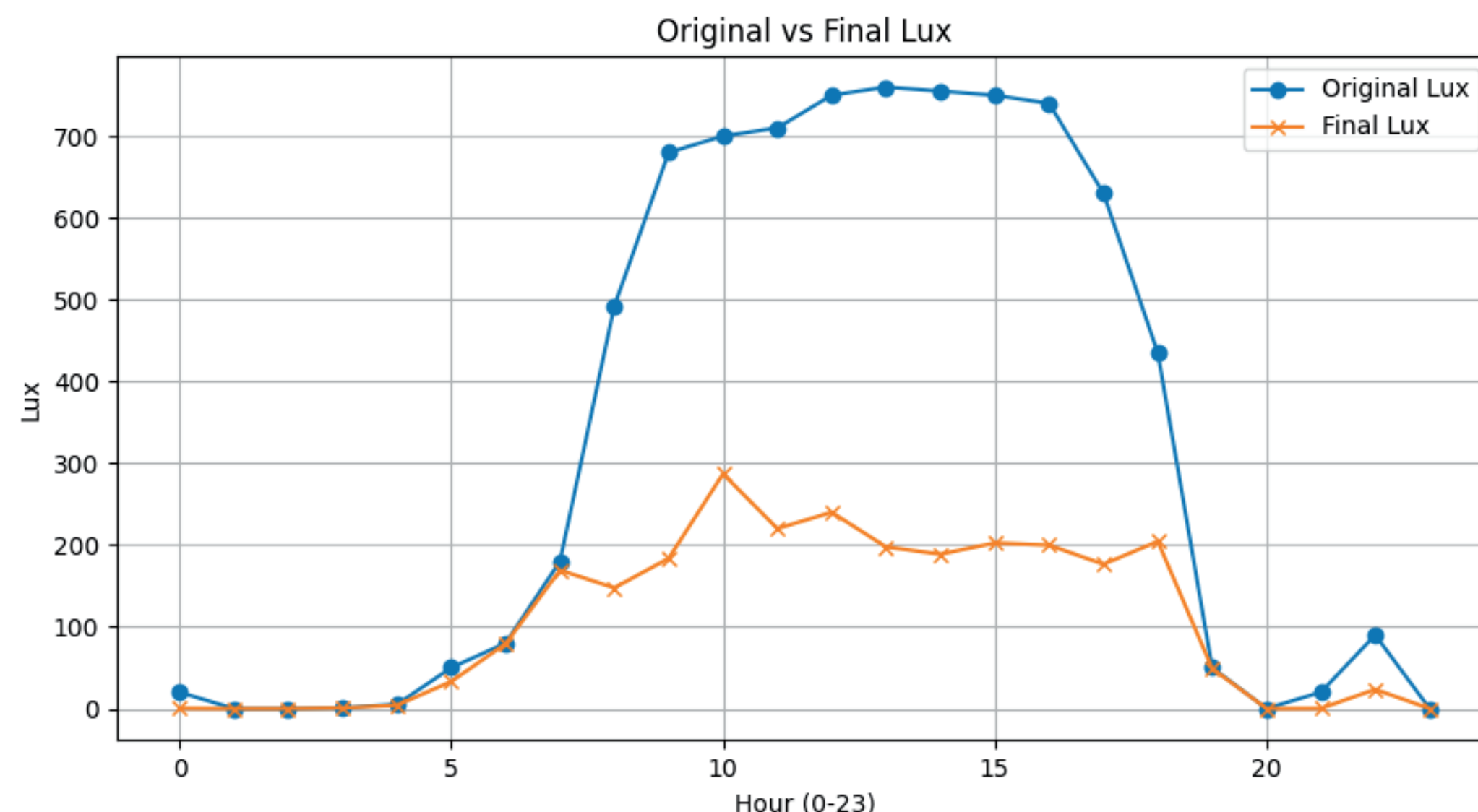
類別	工具
DRL	PyTorch 2.6 + CUDA
資料處理	NumPy、Pandas
視覺化	Matplotlib、Seaborn

三、系統架構圖

專案採用Client-Server架構，將擬真光照渲染與深度強化式學習推論decouple。物理模擬控制為Client端，負責室內光照動態模擬與視覺舒適度回饋計算；Server作為控制核心，透過 RESTful API 與推論模組進行即時閉迴路通訊。推論模組支援16種神經網路架構的動態載入，並整合時序資訊機制以強化模型對氣候趨勢感知能力。



四、成果展示



由上圖結果顯示知模型能夠有效地將室內亮度控制於人眼舒適範圍(100-300 lux)內，相較於傳統規則式控制調光行為更具彈性且貼近自然光照變化趨勢。

Evaluation Datasets and Model Behavior under Progressive Environmental Complexity

Dataset	Environment Type	Noise Intensity	Overall Observation	Implication
A	Baseline Scenario	Low	All methods maintain strong performance	Serves as the reference condition
B	Intermediate Scenario	Moderate	Performance differences begin to appear across methods	Task becomes more sensitive to environmental change
C	Advanced Scenario	High	Robustness outweighs raw inference ability	Methods with stronger adaptability tend to outperform

實驗結果顯示部分基準模型在極端環境下**失誤率超過 40%**，而引入時序資訊後最低可**降至 6%**，一般情況下可帶來 **5%-20% 的誤差改善**。冬季場景為最具挑戰性的情境(訓練資料僅涵蓋夏季)，模型對時序資訊的敏感程度因架構演算法而存在明顯差異。

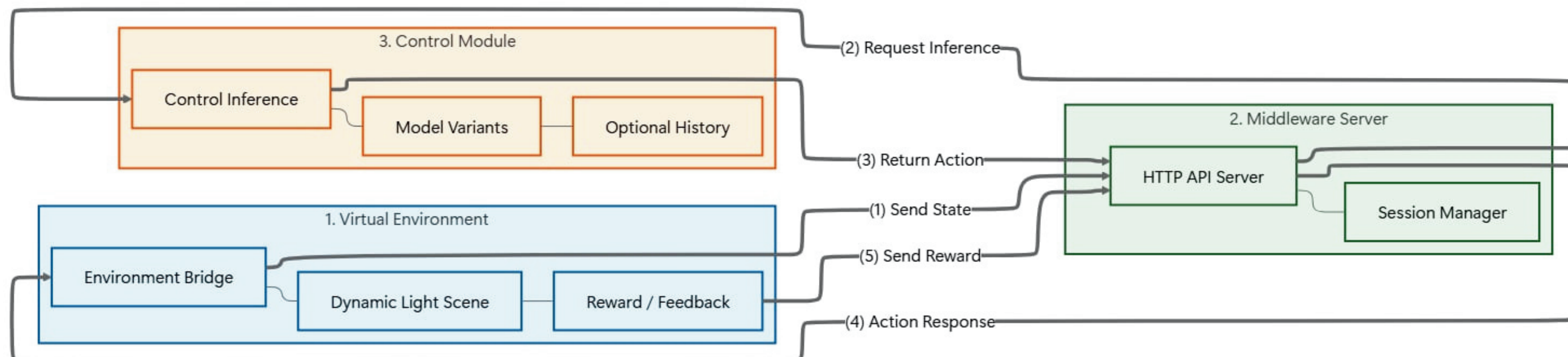
五、結論與未來展望

結論

本研究對多種深度強化式學習架構於智慧玻璃控制任務中的穩健性進行系統性評估。結果顯示時序資訊的引入為有效的架構改進，可明顯降低極端氣候下的控制失誤。研究亦顯示架構設計的選擇對極端環境下的穩健性影響大於模型的理論複雜度。

未來展望

- Sim-to-Real 部署：將模型移植至實體邊緣裝置，結合真實 lux 感測器與 IoT 設備，驗證實際硬體環境下的控制性能。
- 改良探索機制：針對環境噪訊干擾問題，探索能區分認知不確定性與環境固有噪訊的改良探索演算法。



Demo Video

