構建 5G 智慧交通數位神經中樞－

附錄六、《主動式 AI 號誌設計模式》建置指引手冊

交通部運輸研究所

中華民國 115 年 10 月

第一章 前言

1.1 編寫目的

本建置指引手冊旨在建立一套主動式 AI 號誌設計模式（Proactive AI Signal Design Model）之建置與應用規範，作為交通管理單位、研究機構及系統開發廠商在導入 AI 智慧化號誌控制系統時之技術依據。

傳統號誌控制策略多採定時時制或被動式偵測回饋模式，無法即時回應突發交通變化，如天候異常、活動湧入、突發事故或道路瓶頸等。主動式 AI 號誌設計模式透過資料驅動（data-driven）與學習型決策（learning-based decision）機制，能動態檢測異常車流、即時啟動時制調整策略，並藉由自我學習演算法（如 Q-learning）不斷優化決策庫，以提升整體路網運作效率。

本手冊之編寫目的如下：

建立主動式 AI 號誌設計模式之整體架構、建置流程與執行準則。

提供實務單位在進行 AI 號誌系統設計、測試與實作時之技術依循。

建立可重現、可量測、可驗證之 AI 號誌控制設計基準，以推動智慧交通（ITS）在城市號誌控制領域的應用。

1.2 適用對象與範圍

一、適用對象

(一) 中央及地方政府交通管理機關：規劃與執行 AI 智慧號誌控制系統建置、調校與維運之相關單位。

(二) 交通工程顧問公司與系統整合廠商：負責 AI 號誌模式開發、模擬分析、決策庫建置與系統實作者。

(三) 研究機構及學術單位：進行 AI 號誌時制模式、車流行為預測及自學習演算法研究之機構。

二、適用範圍

(一) 適用於鄰近商圈、醫院、學校及舉辦不定期活動之可能偶有異常車流出現之單一路口。

(二) 涵蓋資料蒐集、異常車流偵測、模式建構、決策庫設計、模擬測試與現地實作驗證等階段。

(三) 可延伸應用於與其他 ITS 子系統之整合，如交通速率預測、智慧停車資訊、或事件管理平台。

(四) 適用於具即時資料回傳能力之號誌控制器，包含支援 API 通訊與遠端控制介面者。

1.3 相關背景依據

本手冊之編製，係參考國內智慧交通發展方向與 AI 技術應用趨勢，並整合交通部運輸研究所「構建 5G 智慧交通數位神經中樞」系列研究計畫之「主動式 AI 號誌時制檢測及自動化調整模式」開發成果內容結構而成。其背景依據如下：

一、傳統號誌控制限制

多數路口時制仍依歷史流量資料設定，調整頻率低、更新周期長，對突發交通變化之反應遲緩，常導致路口延滯上升與服務水準下降。

二、AI 時制模式之發展背景

透過整合交通流量、速率、佔有率與旅行時間等即時資料，AI 模型可即時辨識異常車流，並透過模擬軟體（如 Synchro、SUMO）建立不同情境下之最佳化時制計畫，輸入決策庫後由控制系統自動切換。

三、系統構成依據：模式主要架構包括以下項目。

(一) 車流資料主動偵測與異常判斷邏輯

(二) 模擬模式建構與最佳化時制策略庫

(三) AI 學習演算法（Q-learning）自動修正時制計畫

(四) 資料庫與號誌控制器之 API 連動機制

四、政策與技術支援依據

(一) 行政院「智慧運輸系統發展建設計畫」政策及技術發展架構。

(二) 交通部運輸研究所與臺中市政府交通局合作實作場域（如福康路-福順路口）之實證測試數據。

透過上述背景，本手冊建立之主動式 AI 號誌設計模式可提供決策依據，協助交通管理單位落實從「被動式控制」邁向「主動式智慧化管理」，達成動態交通優化與即時應變的目標。

第二章 功能簡介

2.1 系統功能說明

主動式 AI 號誌設計模式旨在透過人工智慧與交通偵測資料整合，達成「即時感知、動態調整、持續學習」的號誌控制策略。本系統由資料蒐集層、分析決策層與控制執行層三大核心模組構成，分別說明如下。

一、資料蒐集層（Data Acquisition Layer）

負責蒐集交通現場各式即時資料，作為 AI 決策之輸入依據。主要功能如下：

(一) 交通流量與速率偵測：利用車輛偵測器（如雷達、影像辨識或路側 RSU）即時收集流量、速度、佔有率、車種比例等資料。

(二) 環境及事件資料整合：整合氣象、道路施工、活動資訊及突發事故資料，以辨識影響交通流的外部因素。

(三) 資料品質監測：內建資料合理性檢核與異常值剔除機制，確保分析結果的可靠性。

二、分析決策層（AI Decision Layer）

為系統核心，負責運用 AI 演算法分析即時交通狀況並產出最佳化時制方案。主要功能如下：

(一) 異常車流偵測與門檻判定：依歷史資料設定基準，透過統計分析與機器學習模型偵測超出標準差的異常流量或速率變化。

(二) AI 時制最佳化決策庫：以 Synchro 與 SUMO 模擬結果為基礎，建立多情境之最佳時制組合，並納入學習式修正。

(三) 學習型優化模組：運用 Q-learning 等強化學習演算法，根據實際執行情境之延滯改善與綠燈使用率表現，自動修正決策庫內容。

(四) 決策觸發邏輯：當系統偵測異常流量達門檻值時，主動下達號誌切換指令至控制層，完成動態應變。

三、控制執行層（Control Execution Layer）

負責將 AI 分析結果轉換為可執行的號誌控制指令，與號誌控制器雙向通訊。主要功能如下：

(一) 號誌控制器介接模組：透過 API 或 RS232 通訊協定實現與控制器的即時互動。

(二) 策略下達與回饋監測：自動化下載時制計畫表，監控控制器回報狀態（如動態模式啟動、時制切換完成等）。

(三) 安全與回復機制：當通訊異常或控制失敗時，自動回復 TOD（Time of Day）預設模式，確保交通安全與穩定。

(四) 績效資料回饋：收集實際執行後之延滯、綠燈使用率及服務水準，回傳至 AI 決策庫進行學習修正。

四、系統輔助功能：除上述核心模組外，系統另具以下輔助功能：

(一) 視覺化監控介面：以儀表板形式即時顯示流量變化、異常警示及時制執行情況。

(二) 資料匯出與報表產製：自動產出執行成效報表，供管理單位定期檢討。

(三) 跨系統資料交換：可與智慧運輸雲端平台或其他 ITS 子系統（如速率預測、事件管理）進行資料共享。

2.2 適用場域與應用情境

一、適用場域

主動式 AI 號誌設計模式適用於具即時資料回傳與號誌控制整合條件之都市道路路口或走廊系統，主要適用於以下場域：

(一) 高變動交通特性之地區：如商圈、醫院、學校及大型活動場館周邊，交通流量隨時段變化明顯。

(二) 重要幹道與區域控制系統：具多交叉口且需協調控制之主要道路走廊。

(三) 易受外部因素影響之路段：如易受氣象或突發事件干擾之主要通勤道路。

(四) 交通瓶頸或常態壅塞區：需持續監測並即時調整號誌以改善通行效率之地區。

二、應用情境

本模式可應用於多種交通變化或異常狀況，典型案例如下：

(一) 事件型應變控制：當偵測到上游發生事故、違停或道路施工導致流量突降時，系統自動辨識異常車流，啟動挑選合適可紓解此情況之時制計畫，以維持流向均衡。

(二) 活動型交通湧入：如節慶活動、演唱會散場等短期流量激增事件，此模式於異常門檻達標時即時啟用挑選合適可紓解之時制計畫，確保主要出流方向暢通。

(三) 氣候型流量變化：雨天或能見度不佳時，因行車速率普遍下降，此模式可偵測速率異常並自動挑選合適可紓解此情況之時制計畫，以平衡停等延滯。

(四) 土地使用變動：新開發區域或商業設施啟用後，長期車流變化頻率提高，此模式可分析該變化是否已形成「新常態」趨勢，並觸發時制重整建議，並挑選合

適時制計畫成為新的 TOD。

(五) 持續學習與決策修正：系統運行越久，累積之異常事件資料越多，AI 決策庫透過回饋學習機制持續優化，形成具自我修正與成長能力的智慧控制模式。

第三章 系統功能建置說明

3.1 系統架構設計

本計畫之主動式 AI 號誌設計模式(以下簡稱本系統)係採用模組化設計，強調資料流與控制流的即時互動。系統架構在邏輯上分為「資料處理層」、「核心運算層」與「應用服務層」，並透過標準化 API 介面與底層硬體(號誌控制器、偵測器)進行溝通。系統運作採閉環控制(Closed-loop Control)設計，其核心架構包含以下四個主要單元：

一、資料前處理單元：負責收容來自車輛偵測器(VD)、eTag、CCTV 或路側單元(RSU)之原始數據，進行正規化與補遺。

二、異常偵測與狀態判定單元：即時比對當下車流特徵與歷史基準，判定是否觸發主動式控制。

三、AI 決策與優化單元：結合模擬軟體（Synchro/SUMO）預建之策略庫，並運用 Q-learning 演算法進行最佳策略選擇與權重更新。

四、號誌控制執行單元：將決策轉譯為控制器可讀之時制計畫指令，並監控執行狀態。

3.2 功能模組說明

本節詳細說明各核心模組之建置功能、輸入資料需求、處理邏輯與輸出成果。

一、資料蒐集與品質檢核模組(Data Pre-processing Module)：本模組為系統基礎，確保進入 AI 模型之數據具備高信賴度。

(一) 功能描述：接收多源交通數據，執行除錯、補遺與格式統一。

(二) 輸入資料：

1. 車流量（Volume）、平均速率（Speed）、佔有率（Occupancy）。
2. 號誌時相狀態（Phase Status）。
3. 外部環境參數（如天氣代碼、施工註記）。

(三) 處理邏輯：

1. 異常值過濾：剔除物理上不可能之數值（如速率 >200 km/h 或 <0）。
2. 缺漏值填補：針對通訊瞬斷導致之資料遺失，採用歷史平均法或線性插值法進行補遺。
3. 資料聚合：將原始偵測資料（如每分鐘 1 筆）聚合為系統運算週期（如 5 分鐘或 15 分鐘）之統計量。

(四) 輸出資料：標準化交通特徵向量（Feature Vector）。

二、異常車流偵測模組(Anomaly Detection Module)：本模組負責擔任「守門員」，決定何時介入控制。

(一) 功能描述：依據歷史常態分佈，檢測當下交通是否發生突發性變化。

(二) 核心演算法：

1. 動態門檻法：建立各時段（平日/假日、尖峰/離峰）之流量平均值與標準差。
2. 判定邏輯：當即時流量或佔有率偏離歷史平均值達特定標準差 (如 > 1.5 Std Dev) 持續一定時間（如 3 週期），即判定為「異常事件」，觸發動態時制調整機制並標記為「異常湧入」。

(三) 輸出資料：異常事件觸發訊號（Event Flag）、異常類型分類。

三、AI 時制決策與優化模組(AI Decision & Optimization Module)；本模組為系統大腦，包含「策略庫檢索」與「強化學習」兩大機制。

(一) 功能描述:根據當前交通狀態(State),選擇預期報酬最高之時制計畫(Action),並根據執行後之績效（Reward）更新決策模型。

(二) 運作流程：

1. 策略庫建置（Offline）:利用 Synchro 或 SUMO 模擬軟體，預先針對不同異常流量等級（如增加 10%、20%、30%），最佳化產出對應之時制計畫（Plan A, Plan B, Plan C...）。
2. 強化學習決策（Online）:
   (1) 狀態定義 (State)：包含各方向流量、目前時制編號。
   (2) 動作定義 (Action)：選擇切換至策略庫中的某一組時制計畫。
   (3) 獎勵 (Reward)： 定義為「路口總延滯時間的減少量」與「綠燈利用率的提升」。
   (4) 更新機制： 系統紀錄每次執行後的成效，更新 Q-Table 數值。若某決策長期導致延滯增加，系統將降低其被選用的機率，反之則強化 。
   (5) 輸出資料：目標時制計畫編號（Target Plan ID）或具體秒數參數。

四、號誌控制與回饋模組(Control Interface & Feedback Module)：本模組負責實體控制器的溝通與安全機制。

(一) 功能描述：將 AI 決策轉換為硬體指令，並確保系統穩定性。

(二) 通訊協定：支援交通部標準通訊協定（TCIS）或控制器廠商特定 API（如支援 XML/JSON 格式之 RESTful API）。

1. 處理邏輯：

(1) 指令下達：傳送時制切換指令或下載新的時制計畫表。

(2) 交接保護：在時制切換時，避免產生短綠燈或違反最短綠燈限制。

(3) 失效自動回復（Fail-safe）：若連續 3 個週期未收到 AI 指令或偵測器斷線，自動強制切回原定 TOD（Time of Day）模式。

2. 輸出資料：控制器狀態回報代碼、實際執行之時制紀錄。

3.3 系統運作流程

本系統之完整運作流程分為三個階段：

一、感知階段：

(一) 系統每 T 分鐘（例如 5 分鐘）自資料庫撈取最新偵測資料。

(二) 進行資料清洗與異常偵測。

(三) 若判定為「正常狀態」，則維持現有 TOD 運作；若判定為「異常狀態」，進入決策階段。

二、決策階段：

(一) AI 模組讀取當前狀態向量（State）。

(二) 查詢 Q-Table，選擇對應當前狀態之最佳時制計畫（Action）。

(三) 系統發出控制請求。

三、執行與學習階段：

(一) 介接模組確認安全性後，下達指令至路口控制器。

(二) 待執行一個週期後，蒐集該週期之績效數據（延滯、速率）。

(三) 計算報酬（Reward），並回傳更新 AI 模組之 Q-Table，完成一次學習循環。

3.4 軟硬體環境需求

為確保主動式 AI 號誌設計模式能穩定運行，建議之建置環境如下：

一、硬體需求建議

(一) 運算伺服器 (AI Server)：

1. CPU：Intel Xeon 或 AMD EPYC 等級以上（建議 8 核心以上）。

2. RAM：32GB (含) 以上，以支撐模擬軟體與大量數據快取。

3. 儲存空間：500GB SSD (作業系統與程式) + 2TB HDD (歷史資料庫)。

(二) 路側設備：

1. 號誌控制器：需具備網路通訊功能（RJ45 介面）並支援遠端動態時制下載。
2. 偵測器：需具備即時數據上傳能力（建議回傳頻率≦1 分鐘）。

二、軟體架構建議

(一) 作業系統：Linux (Ubuntu/CentOS) 或 Windows Server 2019/2022。

(二) 程式語言：Python 3.8+ (用於 AI 模型與資料處理)、C#或 Java (用於系統介接服務)。

(三) 資料庫：

1. 關聯式資料庫 (PostgreSQL/MySQL)：儲存時制計畫、設備清單、統計報表。
2. 時序資料庫 (InfluxDB/TimeScaleDB)：儲存高頻率之流量偵測數據。

(四) 交通模擬軟體：Synchro 10+ 或 SUMO (Simulation of Urban Mobility) 用於策略庫建立與離線訓練。

(五) AI 框架：TensorFlow 或 PyTorch (用於建構強化學習模型)。

3.5 功能驗證與效果評估方法

一、功能驗證方法(Verification)：在系統上線前，需採分層測試策略確保功能正確性。

(一) 單元測試 (Unit Testing)：針對資料清洗函式、異常判定邏輯進行測試，輸入極端值確認程式未崩潰且邏輯正確 。

(二) 硬體迴路模擬測試 (HIL, Hardware-in-the-Loop)： 在實驗室環境中，將 AI 系統與真實的號誌控制器連接，利用交通模擬軟體 (如 SUMO/VISSIM) 產生虛擬車流，驗證系統能否正確觸發控制器切換燈號，且無衝突發生。

二、效果評估指標(Evaluation)：系統上線後，透過 Before-After 比較分析量化效益，主要評估指標包括：

(一) 路口平均停等延滯 (Average Delay)：衡量每輛車通過路口的平均停等時間 (秒/車)。

(二) 綠燈利用率： 檢核綠燈期間實際有車通過的比例，評估時制分配的效率 。

3.6 常見問題與風險因應

本系統涉及現場即時偵測、AI 決策與號誌控制器的雙向互動，為確保交通服務不中斷且絕對安全，本節針對常見技術問題、AI 模型風險及資安風險，提出具體的因應對策與標準作業程序（SOP）。

一、硬體與資料傳輸異常：現場設備(偵測器、通訊模組)受天候與環境影響，為最常

發生故障的環節。系統需具備「降級運作(Graceful Degradation)」能力。

(一) 車輛偵測器失效或資料異常

1. 問題描述： 影像辨識鏡頭遭遮蔽、雷達故障或路側 RSU 斷訊，導致系統接收到流量為 0 或不合理的極端數值。
2. 風險影響：AI 誤判路口無車而縮短綠燈，或因錯誤資料導致時制決策失準。
3. 因應對策：
   (1) 資料品質過濾器（Data Quality Filter）： 在資料進入 AI 模型前，執行物理邏輯檢核（Range Check）。若數值超出合理範圍，直接剔除該筆資料。
   (2) 自動補值與替代邏輯：
   - 短暫遺失（< 5 分鐘）： 採用線性插值法或參考上一週期數據填補。
   - 長時間故障（> 5 分鐘）： 系統自動標記該偵測器為「不可用」，並切換至「歷史資料替代模式」，改以該路口過去同時段的平均流量作為 AI 輸入，確保基本運作。

(二) 通訊網路延遲或中斷

1. 問題描述： 4G/5G 網路不穩導致現場資料回傳延遲超過 3 秒，或控制指令無法下達至控制器。
2. 風險影響： 號誌切換指令錯過最佳時機，造成時相運作錯亂。
3. 因應對策：
   (1) 心跳偵測機制（Heartbeat Check）： 控制執行層與現場控制器每秒互傳心跳封包。若連續 3 個封包（3 秒）未收到回應，視為斷線。
   (2) 主動釋放控制權（Fallback to Local）：斷線時，系統立即發送「釋放控制」訊號（或由控制器端的看門狗 Watchdog 觸發），將號誌控制權交還給現場控制器，回歸原本設定的 TOD（Time of Day）時制，直到連線恢復穩定達 5 分鐘以上才重新接管。

二、模型決策風險：AI 模型（特別是強化學習）可能因面對未曾學習過的極端車流情境，而產出非預期的決策。

(一) 模型決策偏差（Model Bias/Hallucination）

1. 問題描述： 面對罕見的複合型事件（如：暴雨 ＋ 事故 ＋ 道路施工），Q-learning 演算法可能產出過短的綠燈秒數或不合理的時相切換順序。
2. 風險影響： 造成路口嚴重回堵或駕駛人困惑。
3. 因應對策：

(1) 硬體層級安全邊界（Safety Boundary Layer）：這是最後一道防線。無論 AI 下達何種指令，控制執行層皆會強制檢查是否符合交通法規與安全參數：

- 最短綠燈限制：確保各方向綠燈至少運作 10~15 秒（依路口特性設定）。
- 行人清道時間保護：絕對禁止縮短行人通行與清道秒數。
- 黃燈與全紅時間鎖定：AI 無權修改黃燈與全紅時間。

(2) 異常決策阻斷：若 AI 建議的週期長度變化幅度過大，系統將啟動「平滑化機制（Smoothing）」，分多次週期逐步調整，避免劇烈變化影響車流。

(二) 模型老化（Concept Drift）

1. 問題描述：因周邊新建案落成或道路路型改變，導致舊有的訓練模型與決策庫不再適用於當前環境。
2. 風險影響：系統優化效果逐漸遞減，甚至劣於傳統定時號誌。
3. 因應對策：

(1) 績效指標監控（Performance Monitoring）：系統持續計算每日的「延滯改善率」與「停等次數」。若指標連續 7 天低於基準值（Baseline），系統自動發出「模型重訓警示」。

(2) 週期性再學習（Periodic Retraining）：設定排程（如每季或每半年），利用累積的新數據對模型進行離線再訓練（Off-line Re-training），更新權重參數後再部署上線。

(三) AI 辨識風險管理措施：針對 AI 決策可能引發之交通事故風險，建立三道風險防禦線：

1. 物理層防線：控制器硬體必須具備獨立於 AI 之衝突監控功能，嚴禁雙向綠燈。
2. 演算法防線：設定「AI 決策變動步階限制」，防止號誌秒數在週期點間劇烈跳動導致路網破碎。
3. 透明度防線：建立 AI 決策日誌（Decision Log），詳細記錄每筆指令之觸發邏輯，以符合法規要求之事後審計與鑑識能力。

三、資訊安全與系統防護：由於號誌系統涉及公共安全，必須嚴防惡意攻擊或未經授權的存取。

(一) 惡意指令注入

1. 問題描述： 駭客透過網路入侵，試圖發送全綠燈或惡意全紅燈指令。
2. 因應對策：
   (1) 封閉式網路架構（Private Network）： 建議使用 VPN 或電信商 APN 專網，不直接暴露於公用網際網路。
   (2) 指令簽章驗證：所有控制指令需包含加密簽章(API Token 或數位憑證)，控制器端僅接受驗證通過的指令。

(二) 系統資源耗盡

1. 問題描述： 資料庫累積過多歷史數據，或 AI 運算佔用過多 CPU/RAM，導致伺服器當機。
2. 因應對策：
   (1) 資料生命週期管理：設定資料庫自動封存策略(Partitioning & Archiving)，將超過 1 年的原始數據移至冷儲存區，保持線上資料庫輕量化。
   (2) 資源隔離（Containerization）： 採用 Docker 容器技術部署各模組，並限制各容器的記憶體與 CPU 使用上限，防止單一模組崩潰影響整體系統。

第四章 整合與落地應用作法

4.1 整合應用模式

本主動式 AI 號誌設計模式並非取代現有的交通控制系統（Traffic Management System, TMS），而是作為一項加值功能（Add-on Feature）掛載於既有架構之上。為確保系統能順利落地並發揮最大效益，需在「資料層」、「控制層」與「應用層」三個面向與既有系統進行標準化整合。

一、系統整合架構原則

整合設計應遵循「鬆散耦合（Loosely Coupled）」與「標準化介面」兩大原則，以降低對既有系統運作之影響，並保留未來擴充彈性。

(一) 模組化掛載： AI 模組應視為獨立的邏輯單元，透過 API 與既有中心系統或路側設備溝通，不直接修改既有系統的核心程式碼。

(二) 網路安全隔離： AI 運算伺服器建議部署於 DMZ 區或獨立網段，透過防火牆控管與交控內網之連線，確保核心控制系統之資安防護。

二、資料層整合 (Data Layer Integration)

AI 模組需依賴豐富的交通數據進行訓練與決策，整合對象包含路側偵測設備與中心歷史資料庫。

(一) 路側設備直接介接 (C2F / C2C 混合模式) 針對具備即時性要求極高（延遲 <1 秒）的應用，建議 AI 模組直接讀取路側設備訊號：

1. 車輛偵測器 (VD)： 透過 TCP/UDP Socket 監聽既有偵測器回傳至中心的原始封包，解析流量、速率與佔有率資訊。若現場為類比訊號設備，則需加裝訊號轉換器（Gateway）。
2. CCTV 影像串流： 透過 RTSP (Real-Time Streaming Protocol) 協定，介接既有路口監視攝影機影像，供 AI 進行影像辨識與車流追蹤分析。

(二) 中心資料庫整合 (Database Integration) 針對歷史趨勢分析與模型訓練需求，需介接交控中心資料庫：

1. 介接方式： 建議建立「資料交換中介表（Staging Table）」或透過 RESTful API 查詢，避免 AI 高頻讀取影響核心業務資料庫（Operational Database）效能。
2. 資料內容：獲取歷史流量資料（History Traffic Data）、號誌時制計畫表（Timing Plan）、以及事件紀錄（如事故、施工通報），以優化 AI 的長短期記憶模型。

三、控制層整合(Control Layer Integration)

此為整合中最關鍵且高風險的環節，涉及 AI 決策指令如何下達至號誌控制器。依既有設備條件，分為「中心軟體整合」與「路側硬體介接」兩種模式。

(一) 中心軟體整合模式 (Center-to-Center, C2C) 適用於已建置集中式號誌控制系統之單位。

1. 運作流程： AI 模組計算出最佳時制後，將建議方案（如：延長綠燈 10 秒、切換至計畫 ID #5）傳送至交控中心伺服器。
2. 權限管理： 中心系統需開發標準 API 接收 AI 指令，並由中心系統負責進行最後的安全邏輯檢核（Safety Check）後，再統一派送至路口控制器。此模式安全性最高，責任分界明確。

(二) 路側硬體介接模式 (Center-to-Field, C2F) 適用於需極低延遲反應（如緊急車輛優先、與路側邊緣運算結合）之場域。

1. 運作流程： AI 邊緣運算主機透過 RS-232 或 RJ-45 網路孔，直接與現場號誌控制器連線。
2. 通訊協定： 需遵循國內現行「交通號誌控制器通訊協定」標準（如交通部規範之通訊協定），傳送步階控制（Step Control）或時制下載指令。整合時需設定「優先權機制」，確保 AI 介入時能暫時覆蓋原有的 TOD 設定。

四、應用層與介面整合(Application & UI Integration)

為降低管理人員的學習門檻，AI 系統的操作與資訊呈現應盡量融入既有工作站介面。

(一) 單一登入 (SSO) 與權限整合

整合既有目錄服務（如 LDAP/AD），讓交控中心人員使用原帳號即可登入 AI 管理模組，並依職級設定「僅供瀏覽」或「允許操作」權限。

(二) 視覺化儀表板內嵌

1. Web 嵌入：將 AI 系統的即時監控畫面（如異常告警地圖、即時流量儀表板）開發為 Web 元件，透過 iFrame 或連結方式嵌入既有交控系統的操作網頁中。
2. 告警連動：當 AI 偵測到嚴重異常時，除在自身介面顯示外，應主動發送 Event 訊號至交控中心的主警報系統，讓值班人員能透過既有廣播或視窗彈跳獲知訊息。

4.2 系統維運建議

主動式 AI 號誌系統結合了即時物聯網（IoT）偵測、人工智慧運算與現場號誌

控制，其運作複雜度高於傳統定時號誌系統。為確保系統長期穩定運行並維持決策品質，建議維運單位應建立標準化作業流程（SOP），涵蓋日常巡檢、AI 模型維護、異常排除及資料保全四大面向。

一、日常巡檢與硬體維護(Routine Inspection)：現場偵測設備的妥善率直接影響 AI 判斷的準確性，是維運工作的首要防線。

(一) 路側設備檢核

1. 車輛偵測器 (VD/CCTV)： 每週檢視回傳數據之完整性（Availability）與準確性（Accuracy）。若發現特定路口流量長期為零或恆定不變，需派員檢查鏡頭是否髒污、雷達角度是否偏移或線圈是否斷裂。
2. 通訊連線測試： 每日監控路側設備與中心伺服器之連線品質（Ping 值、封包遺失率）。建議設定自動化監控腳本，當連續斷線超過 10 分鐘即發送告警。

(二) 號誌控制器介面檢查

1. 定期檢查控制器與 AI 運算單元（IPC）之實體連接線路（RS-232/RJ-45）。
2. 檢核控制器之「看門狗（Watchdog）」功能是否正常開啟，確保當 AI 系統當機時，控制器能自動接管並回歸 TOD 模式。

二、AI 模型監控與再訓練(AI Model Maintenance)：AI 模型的決策能力可能隨時間推移、道路環境改變或駕駛行為變遷而產生「模型老化（Model Drift）」現象，需透過持續監控與更新來維持效能。

(一) 績效指標監控(Performance Monitoring)

1. 系統應每日自動產出「控制成效日報」，比對 AI 控制時段與歷史同期 TOD 時段之延滯時間 (Delay)與 停等次數 (Stops)。
2. 警示門檻：若 AI 控制成效連續 7 天低於基準值（例如：延滯不減反增），系統應自動標記該路口為「待優化」，並通知工程師介入診斷。

(二) 模型再訓練機制(Model Retraining)

1. 定期重訓：建議每季（或每半年）執行一次離線再訓練（Off-line Training）。將最近一季累積的真實車流數據匯入 Q-learning 模型，更新神經網路權重或 Q-Table，讓 AI 學習最新的交通特性。
2. 事件驅動重訓：若路口發生重大幾何改變（如：新增車道、禁止左轉）或周邊有大型設施啟用（如：商場開幕），應立即蒐集新資料並重新訓練模型，而非等待定期排程。

三、異常排除與緊急應變(Incident Response)：為防止系統故障影響交通安全，需建

立分級應變機制。

(一) 第一級：資料缺漏（輕度異常）

1. 現象：部分偵測器失效，但仍有部分資料可參考。
2. 處置：系統自動切換至「補值模式」，利用歷史平均值或鄰近路口資料填補，維持 AI 運作，並同步派工維修硬體。

(二) 第二級：通訊中斷或決策異常（中度異常）

1. 現象：中心無法下達指令，或 AI 產出之綠燈秒數違反安全邊界（如綠燈過短）。
2. 處置：啟動「安全回復（Fail-Safe）」機制。AI 系統立刻發送「釋放控制」訊號，強制號誌控制器降級為在地 TOD 運作，直到工程師排除故障並重置系統。

(三) 第三級：交通癱瘓或系統衝突（重度異常）

1. 現象：現場發生嚴重回堵，或民眾通報號誌運作混亂。
2. 處置：交通管理中心（TMS）人員應透過中央監控系統，強制切斷 AI 模組權限，改由中心人工手動介入（Manual Control）或切換至緊急疏導時制，並立即召集開發廠商進行根因分析。

四、資料備份與安全性管理(Backup & Security)

(一) 系統備份策略

1. 資料庫備份：交通流量與號誌執行紀錄屬重要資產，建議採「每日增量備份 (Incremental Backup)」與「每週完整備份 (Full Backup)」，並保留至少 1 年之歷史數據。
2. 模型參數備份：每次模型再訓練後，務必備份模型權重檔（Model Weights）與設定檔（Config），以便在更新失敗時能快速回復至上一版穩定模型。

(二) 資安防護更新

1. 定期（每月）執行伺服器作業系統與資料庫之安全性修補（Security Patch）。
2. 檢核防火牆規則，確保僅有授權的 IP（如交控中心內網）能存取 AI 控制模組之管理介面。