構建 5G 智慧交通數位神經中樞－

附錄二、《大型活動交通影響分析模式》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

本建置指引手冊的編寫目的，主要係將交通部運輸研究所於「構建 5G 智慧交通數位神經中樞系列計畫」多年研發有成之「大型活動交通影響分析模式」進行有效的推廣與應用，以期能將單一的成功經驗，轉化為各縣市於大型活動籌備期間，針對活動人流、活動期間路段速率、接駁車需求及停車需求預估之共同基礎，作為擬定活動期間交通疏導人力配置、接駁車量能規劃及停車引導策略之參考依據。本手冊旨在扮演政策與實務之間的橋樑，為各級政府單位提供一套清晰、標準化且可執行的技術藍圖，並可於既有的交控系統中自行建置或導入一套功能完善的事前預估系統。

手冊內容涵蓋系統的總體架構設計、四大核心模組的詳細功能與演算法說明、軟硬體資源需求規劃、乃至系統的功能驗證與效果評估方法，並著重說明各類事前預估模組於自行建置時，至少應具備之輸入與輸出資料格式與欄位，以作為最低技術規範與實作要求依據。透過本手冊能建立一套標準化的建置流程，確保系統能夠被準確且高效率的複製與部署，降低各單位導入門檻，有效銜接政策需求與各縣市的實務應用。

1.2 適用對象與範圍

一、適用對象

本手冊的讀者群廣泛，不僅限於技術人員，更涵蓋政策制定與執行的各個層面：

(一) 政府交通主管機關與決策人員：協助了解針對大型活動事前預估的技術成熟度、應用效益及自行建置系統的導入模式，以作為制定智慧交通政策、編列預算及規劃未來發展方向之參考。

(二) 地方政府標案規劃與採購人員：可直接引用本手冊中的功能規格、軟硬體需求及驗收標準，作為標案的技術規範書，確保採購的系統符合預期效益。

(三) 系統整合商與軟體開發廠商：可依循本手冊的步驟，為政府客戶建置一套完整、穩定的事前預估系統，並將事前預估服務整合至客戶現有的交通管理平台中。

(四) 學術與研究單位：可透過本手冊了解業界實際採用的事前預估架構與技術細節，作為學術研究與產學合作的參考基礎。

二、適用範圍

本手冊定義並闡述「大型活動交通影響分析模式」從概念到實踐的完整技術框架。其內容涵蓋系統建置的運作機制與建置流程，包含所需資料、預估方法、產出結果之資料欄位、所需硬軟體資源、功能驗證與效果評估方法之技術要點。

1.3 相關背景依據

本手冊的撰寫，除技術的展現之外，亦為實務經驗與政策目標的結合，其主要背景依據如下：

一、多年期研發成果的標準化：本手冊為一個經過多年開發、驗證與優化的大型活動交通影響分析模式及其配套系統，進行知識萃取與標準化後的成果，旨在將成熟的技術轉化為可複製、可擴散的解決方案。

二、呼應國家智慧運輸發展政策：內容與架構的設計，旨在呼應國家與地方政府推動「智慧城市」與「智慧運輸系統（ITS）」的政策方向，並提供大型活動籌備階段針對交通管制、停車導引及接駁車量能預估的具體技術實踐路徑。

三、降低導入門檻與風險：透過提供一份經過驗證的「通用性公版」建置藍圖，各建置單位無需從零開始進行漫長的技術探索與試誤，可大幅縮短開發時程、降低建置風險，並確保系統的最終品質與專注於應用效益。

第二章 功能簡介

2.1 系統功能說明

本手冊所構建之「大型活動交通影響分析模式」為一套可於大型活動籌備階段提供各類事前預估結果與標準化對外服務的端到端智慧化服務方案。其總體功能旨在提供決策導向、在地化與彈性化的事前預估服務，其提供之服務包含以下三個層面：

一、以決策為導向之事前預估結果：本系統共含四大核心模組，可於大型活動舉辦前產出分時預估結果，當中含分時人流、路段速率、接駁車需求與停車需求。其推估結果可直接作為各縣市交通管理單位於擬定事前交通管制策略、疏導人力配置、接駁車量能及停車引導規劃之依據。

二、高度在地化的服務：為應對不同活動會場之交通特性，本系統以「在地化建模」為設計核心，針對每一個活動會場提供分時人流、路段速率、接駁車需求與停車需求四類事前預估結果。此設計旨在充分反映各地點交通組成與環境之差異，並透過在地化參數校正以更精準地掌握人車流變化，供交通管理單位可依據各場域特性擬定差異化疏導策略，以及接駁車與停車資源配置方案，達成更具效率與精準的交通管理策略。

三、彈性的擴散與整合能力：本系統的擴散應用模式採自行開發方式進行。政府單位可依據本手冊，自行進行系統開發，或於標案中要求廠商建置一套完整的私有化系統，並整合至既有的交通控制等資訊平台中。因此，本手冊將著重說明各核心模組於系統建置時，最低應具備之輸入與輸出資料欄位，作為系統開發之技術規範與實作依據。

2.2 適用場域與應用情境

本系統針對不同活動會場提供在地化預估服務，整體服務架構可歸納為以下應用：

一、基礎單元網格人流熱點預估

本模組以基礎單元網格為分析單位，於事前提供大型活動期間自各基礎單元網格往返(前往與離開)活動會場之分時人次預估結果；搭配各網格之靜態屬性(如網格經緯度、所在縣市或鄉鎮市區等)，可進一步提供各行政區或交通分區的人潮來源與去向排名，協助交通管理單位掌握人流分布與流向特性。將上述預估結果整合至各縣市交通控制系統後，可達至以下應用情境：

(一) 交通管制規劃：依據分時人次預估結果，本系統可於活動前掌握各時段人潮於活動會場周邊之聚集範圍，協助交通管理單位提前識別需優先採取交通管制的重點區域，並作為後續規劃路段管制措施、疏導人員部署與人流導引標誌配置之參考依據。

(二) 入離場動線與接駁車乘車點位規劃：透過對各時段人流熱點趨勢的觀察，可掌握人潮進出活動會場的主要出入口與移動方向，協助交通管理單位於事前優化入離場動線及導引規劃，同時規劃會場周邊之接駁車搭乘點位，確保人流進離場之順暢與效率。

二、路段速率預估

以活動會場周邊之公路路網為分析範圍（排除國道與快速道路），本模組針對場域周邊道路之分時路段速率進行事前預估，並將預估速率低於 30 公里/小時之路段標示為警示路段，進而做為以下應用：

(一) 替代路線與引導動線設計：透過事前預估各時段之路段速率，可提前掌握警示路段位置或速率顯著下降之路段範圍，據此規劃進離場替代路線、接駁車運行路線及停車導引動線，以有效分散車流量，降低活動期間場域周邊之道路交通壓力，並維持整體道路運行績效。

(二) 交通維持計畫與疏導人力配置規劃：根據預估之警示路段資訊，交通管理單位可針對警示路段周邊或速率顯著下降之區域，事前於重要路口部署交通疏導人員，或適時調整號誌時制與車流導引標誌配置，以維持場域周邊路網之運作順暢。

三、軌道場站之接駁車需求預估

本模組可事前估算活動期間往返活動會場與各軌道場站之間的分時接駁車需求，進而做為以下應用：

(一) 接駁車量能規劃：分時接駁車需求可作為計算所需接駁車輛數量與班次之重要依據，協助交通管理單位合理分配運能，避免運輸不足或資源浪費，確保活動期間接駁服務順暢。

(二) 接駁車路線規劃：於掌握各軌道場站之接駁車需求後，交通管理單位可搭配活動會場周邊的預估路段速率，規劃接駁車行駛路線以避開壅塞路段，亦或於活動期間設置接駁車專用道，以維持整體道路運行效率並提升接駁服務效能。

四、停車需求預估

本模組於活動會場周邊設定攔截圈，並計算自攔截圈各重要路口前往活動會場之分時停車需求，若同時結合活動會場周邊既有停車場資訊，可事前規劃以下事項：

(一) 備援停車場規劃：於整合活動會場周邊既有停車場資訊後，交通管理單位可依分時停車需求，檢視既有停車場之停車位是否充足。若既有停車位不足，交通管理單位可針對備援停車場之選址與停車規模進行規劃，確保活動期間提供充足停車位，減少車輛於路邊隨意停放所造成的交通干擾與安全風險。

(二) 停車導引規劃：於掌握攔截圈各方向前往活動會場的分時停車需求後，交通管理單位可將各方向來車導引至最近的停車場，並結合會場周邊的預估路段速率，規劃停車導引路線與相關指示牌設置，避免駕駛人繞行或駛入壅塞路段，確保停車與道路通行效率。

第□章 系統功能建置說明

3.1 系統架構概述

本系統的整體服務架構含四項核心模組，分別為：基礎單元網格人流熱點預估模組、路段速率預估模組、軌道場站之接駁車需求預估模組與停車需求預估模組，各核心模組亦由不同子模組構成。本文件將依據如圖 1 之系統架構圖，詳細說明各核心模組與其子模組的功能與運作流程。為確保自行進行系統開發之人員能有效掌握並落實本手冊內容，本章節將著重說明各核心模組於系統建置時，最低應具備之輸入與輸出資料欄位，作為系統開發之技術規範與實作依據。

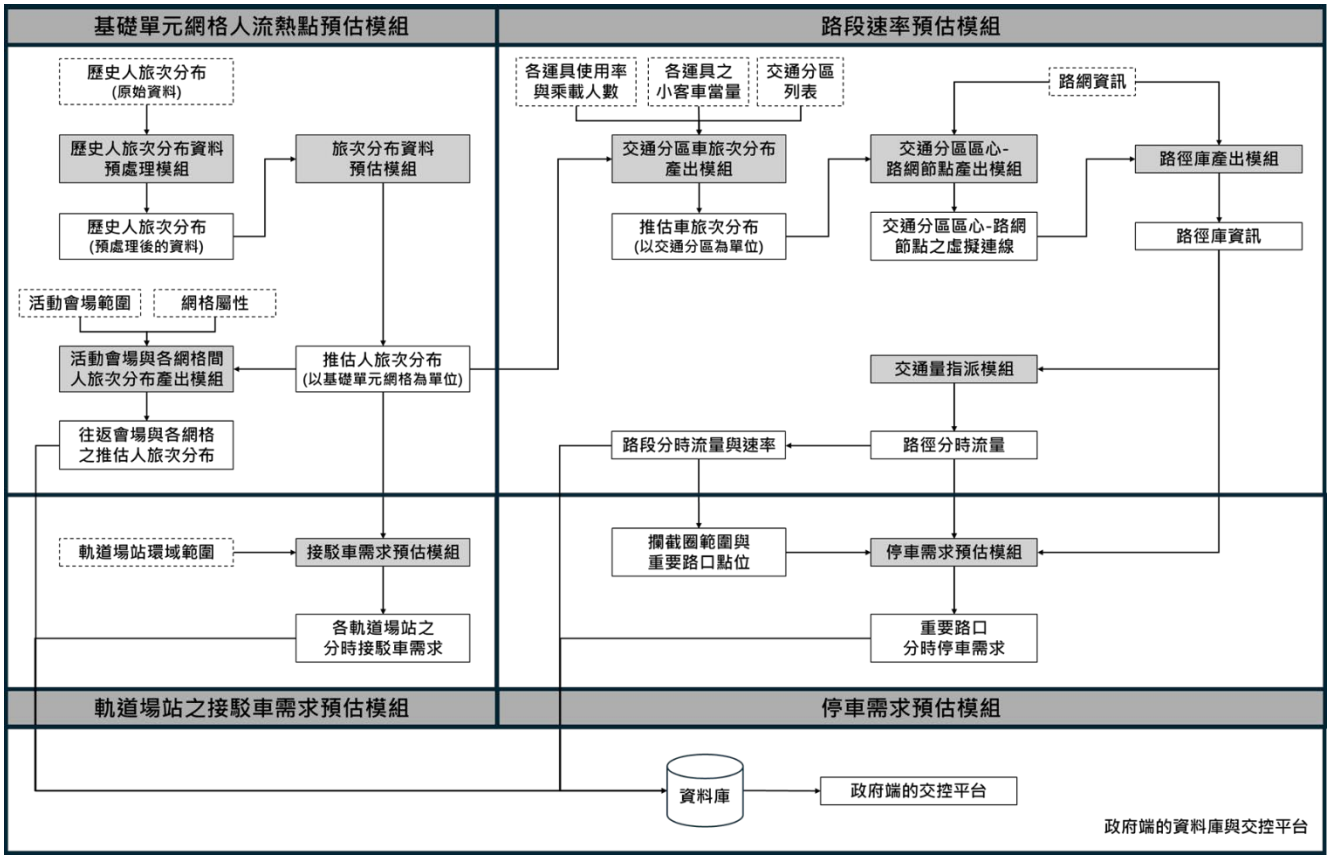


圖 1 大型活動交通影響分析模式系統架構圖

3.2 軟體設計／演算法說明

本節將詳述四大核心模組之建置功能、所需輸入資料、流程與輸出成果。各核心模組可獨立開發與應用，亦可依使用者需求進行彈性調整或擴充；其預估成果擬於產出後儲存於政府端資料庫並發布於政府端之交通控制平台，以供相關單位於大型活動前掌握各類預估結果並作為制定疏導策略之參考依據。

一、基礎單元網格人流熱點預估 (Grid-Based Crowd Flow Estimation) 模組

本模組為整個大型活動交通影響分析模式系統，通過事前預估大型活動期間各基礎單元網格對之人旅次分布，可作為後續路段速率預估模組、軌道場站之接駁車需求預估模組與停車需求預估模組輸入資料之基礎。本模組由三個子模組構成，各子模組的建置與運作如下：

(一) 歷史人旅次分布資料預處理模組

本子模組讀取以單元網格為基礎的歷史人旅次分布資料，並對資料進行異常值過濾與時間聚合處理，產出可供後續分析使用之統計量。

1. 輸入資料：

輸入資料可包含但不限於由手機信令網格、IoT 感測器覆蓋單元、CCTV 設備覆蓋單元、建物區塊網格、行政區網格與其他空間型網格或設施單元為基礎單元網格之旅次分布資料。此外，該輸入資料需完整涵蓋大型活動交通影響分析模式系統之分析空間範圍，且其資料欄位應至少包含以下四項資訊：

(1) 起點網格 (Origin Grid)：即旅次開始所處之基礎單元網格編碼。

(2) 迄點網格 (Destination Grid)：即旅次結束所處之基礎單元網格編碼。

(3) 旅次發生時間 (Trip Datetime)：即旅次發生之日期與時間。

(4) 旅次量 (Trip Volume)：即特定起迄網格與時間條件下之旅次數，為一整數。

2. 流程：

因歷史旅次分布資料可能以不同時間尺度(如每 5 分鐘或每 15 分鐘一筆)輸入，本子模組可將原始資料聚合為系統運算週期(每小時一筆)之統計量，並將不合理之旅次量剔除(如旅次量小於 0 的資料)，以利後續分析。

3. 輸出資料：

該輸出資料欄位應至少包含以下五項資訊：

(1) 起點網格 (Origin Grid)：即旅次開始所處之基礎單元網格編碼。

(2) 迄點網格 (Destination Grid)：即旅次結束所處之基礎單元網格編碼。

(3) 旅次發生日期 (Trip Date)：即旅次發生之日期。

(4) 旅次發生小時 (Trip Hour)：即旅次發生所屬之小時時段，為介於 0~23 的整數。

(5) 旅次量 (Trip Volume)：即特定起迄網格與時段條件下之旅次數，為一

整數。

(二) 旅次分布資料預估模組

本子模組藉由分析歷史人旅次分布資料與各交通量指標或變數之關聯推估未來大型活動相較於過往同類型大型活動之旅次成長率，並據此預估未來大型活動期間之人旅次分布情形。

1. 輸入資料：

除經「(一) 歷史人旅次分布資料預處理模組」小節所產出之歷史分時旅次分布資料，該輸入資料應包含各類交通量指標，以及其他可反映整體交通需求變化之資料。

2. 流程：

藉由分析歷史人旅次分布資料與各交通量指標之關聯性，本子模組可推估未來大型活動相較於過往同類型大型活動之旅次增長率，並據此增長率預估未來大型活動期間之人旅次分布情形；其中，納入考量之交通量指標可包含但不限於捷運運量、公路客運運量、臺鐵運量、道路交通流量、共享運具使用量或其他可反映整體交通運輸需求變化之指標。

此外，若欲自行建置此模組並進一步提升未來大型活動期間人旅次預估之準確性，亦可透過蒐集更長期的歷史人旅次分布資料與更多元之歷史資料，例如天氣狀況、各基礎單元網格之土地使用變化、居住與就業人口、活動規模與性質等變數，並結合人工智慧(Artificial Intelligence, AI)方法進行建模，以預測大型活動期間之旅次分布情形。

3. 輸出資料：

本子模組所輸出之資料欄位與「(一) 歷史人旅次分布資料預處理模組」小節一致，需至少包含起點網格、迄點網格、旅次發生日期、旅次發生小時與預估旅次量等五項資訊。

(三) 活動會場與各網格間人旅次分布產出模組

本子模組透過整併活動會場周邊範圍內之網格作為單一的起迄點，可計算各網格與活動會場之間的往返人旅次量，協助交通管理單位掌握各時段進出活動會場的人次變化。

1. 輸入資料：

除經「(二) 旅次分布資料預估模組」小節所產出之推估分時旅次分布資料，該輸入資料應活動會場周邊範圍之網格屬性資料(如網格編碼、中心

經緯度、所在縣市、鄉鎮區等)。

2. 流程：

將活動會場周邊範圍內之網格整合為單一起迄點，可進一步計算往返其他網格與活動會場間之分時人旅次量。另若可結合網格靜態屬性(如網格所在縣市、鄉鎮市區等)，可進一步計算各鄉鎮區的人潮來源與去向排名，協助交通管理單位掌握人流分布與流向特性。

3. 輸出資料：

本子模組最終所輸出之資料應至少包含以下資訊：

(1) 活動會場名稱 (Venue Name) 或活動會場編碼 (Venue ID)

(2) 活動會場中心經度 (Venue Centroid Longitude)

(3) 活動會場中心緯度 (Venue Centroid Latitude)

(4) 基礎單元網格編碼 (Grid ID)

(5) 基礎單元網格之中心經度 (Grid Centroid Longitude)

(6) 基礎單元網格之中心緯度 (Grid Centroid Latitude)

(7) 旅次發生日期 (Trip Date)：即旅次發生之日期。

(8) 旅次發生小時 (Trip Hour)：即旅次發生所屬之小時時段，為介於 0~23 的整數。

(9) (自該基礎單元網格)前往活動會場的旅次 (Incoming Trip)，為一整數。

(10) 離開活動會場(前往該基礎單元網格)的旅次 (Outgoing Trip)，為一整數。

二、路段速率預估 (Link Speed Estimation) 模組

利用與推估車旅次分布資料與公路路網屬性資料，本模組可透過交通量指派模型，事前預估大型活動期間活動會場周邊道路之分時路段流量，並透過 BPR 函數 (Bureau of Public Roads Function)所建立之旅行成本函數轉換為分時路段速率。其各子模組之建置與運作如下所示：

(一) 交通分區車旅次分布產出模組

因一般基礎單元網格之分析尺度較小且數量眾多，不適宜直接作為交通量指派之分析單元，故本子模組以交通分區作為後續交通量指派之空間分析單元；同時，並透過外出民眾各運具使用次數之市占率、各運具平均乘載人數等參數，將基礎單元網格間之人旅次分布資料轉換為交通分區間之車旅次分布資料，用於交通量指派與停車需求推估。

1. 輸入資料：

該輸入資料係採用經「一、基礎單元網格人流熱點預估模組」所推估之分時人旅次分布資料與交通分區列表(需含交通分區編碼欄位，即 Zone ID)。此外，本子模組參考交通部統計處發布之「民眾日常使用運具狀況調查摘要分析」中外出民眾各運具使用次數之市占率，以及「自用小客車使用狀況調查報告」與「機車使用狀況調查報告」所提供之各運具平均乘載人數，作為人旅次轉換為車旅次之依據。

2. 流程：

本子模組先依據地區特性劃分研究範圍內之交通分區，例如將同一行政區內之數個村里整合為一個交通分區，或考量鐵路與公路轉乘需求、港區貨運特性、機場客貨運活動等因素，另行劃設交通場站分區，以利於解釋與分析交通分區間之旅次行為及其特性。

隨後，本子模組將基礎單元網格間之人旅次分布資料轉換為交通分區間之小客車旅次總量資料，其轉換流程如圖 2 所示。依每一起迄網格之間的人旅次，本子模組透過起迄網格中各交通分區的面積占比進行細部拆分，再依交通分區尺度進行整併，彙整為以交通分區為基礎之人旅次量。另考量大型活動期間部分民眾使用大眾運輸系統(如軌道或公車客運服務)往返會場，本子模組設定使用大眾運輸往返會場之人旅次占交通分區間人旅次總量之比例(依歷年臺灣燈會使用大眾運輸之比例，本系統設定為 40%，實際應用仍可視當地大眾運輸服務與地區特性自行調整)，並自大型活動後仍提供軌道或公車客運服務之相關交通分區人旅次總量中予以扣除，以反映實際使用私人運具之人旅次需求。

同時，參考交通部統計處發布之「111 年民眾日常使用運具狀況調查摘要分析」，採用中部地區外出民眾之運具使用次數市占率，其中自用小客車市占率為 30.1%、機車市占率為 49.7%，以將交通分區間之人旅次總量拆分為小客車與機車之人旅次。另參考交通部統計處發布之「111 年自用小客車使用狀況調查報告」及「111 年機車使用狀況調查報告」，取中部地區平、假日自用小客車最常乘坐人數(含駕駛人)及機車最常乘載人數(含駕駛人)作為本計畫之乘載率，其中小客車平日為 1.7 人、假日為 2.5 人，機車為 1.21 人，據以將交通分區間之小客車與機車人旅次分別轉換為小客車及機車車旅次；並進一步採小客車當量(小客車與機車之當量值分

別設定為 1.0 與 0.432)將交通分區間之小客車和機車車旅次轉換為交通分區之間車旅次(PCU)總量。上述參考參數值可配合交通部統計處最新發布之統計資料，或依分析需求於本子模組中自行進行調整。

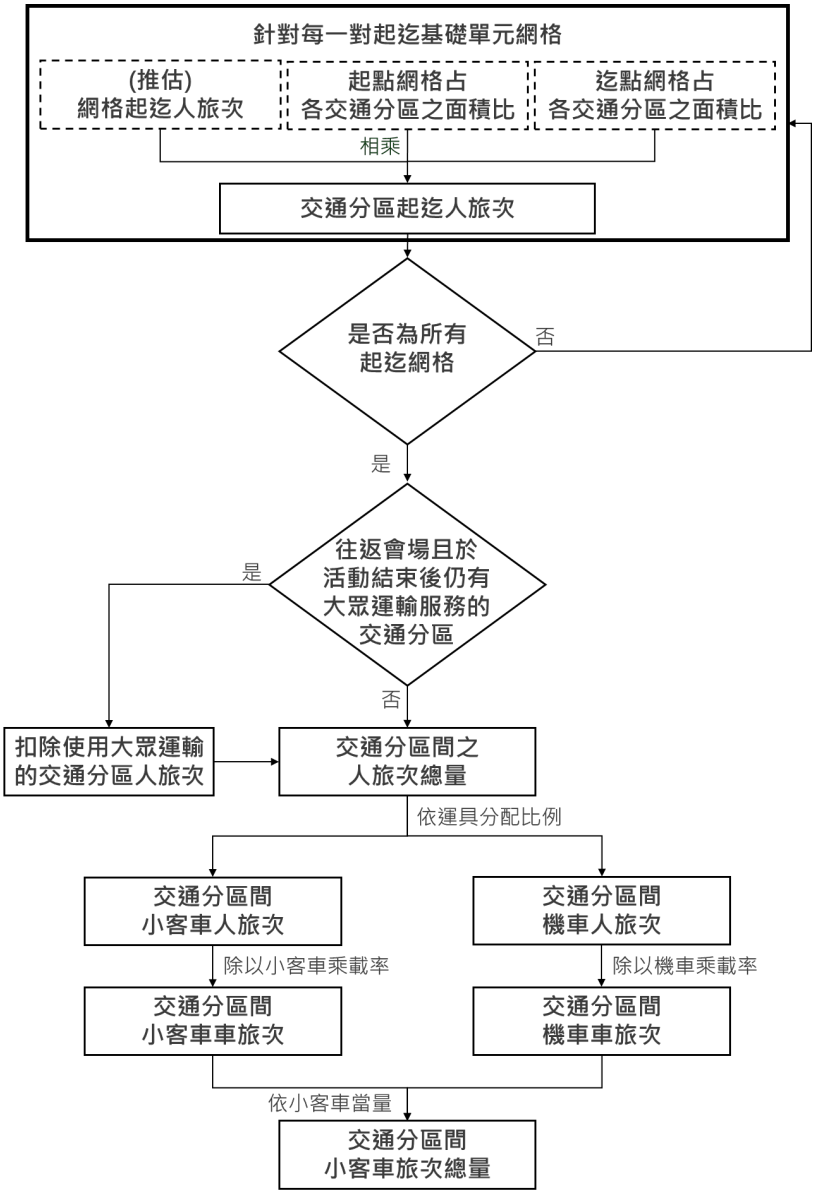


圖 2 基礎單元網格人旅次轉換為交通分區小客車旅次總量之流程圖

3. 輸出資料：

本子模組所輸出之資料為交通分區間之車旅次量，其輸出資料欄位應至少包含以下五項資訊：

(1) 起點交通分區 (Origin Zone)：即旅次開始所處之交通分區編碼。

(2) 迄點交通分區 (Destination Zone)：即旅次結束所處之交通分區編碼。

(3) 旅次發生日期 (Trip Date)：即旅次發生之日期。

(4) 旅次發生小時 (Trip Hour)：即旅次發生所屬之小時時段，為介於 0~23 的整數。

(5) 車旅次量 (PCU Trip Volume)：即特定起迄交通分區與時段條件下之車旅次數。

(二) 交通分區區心-路網節點產出模組

為掌握與推估於大型活動期間，交通分區間之車旅次需求於活動會場周邊道路路網中之流量分布情形，需建立各分區區心與道路節點之虛擬連線，作為交通分區旅次進出路網之連接關係。

1. 輸入資料：

輸入資料應包含各交通分區編碼與其區心之經緯度(Zone ID、Zone Longitude、Zone Latitude)□ 各路網節點編碼與其經緯度(Node ID、Node Longitude、Node Latitude)。

2. 流程：

本子模組係以直線距離為判定依據，辨識距離各交通分區區心最近之一個或多個路網節點，並據以建立交通分區區心與道路節點之虛擬連線。

3. 輸出資料：

本子模組所輸出之資料應至少包含以下資訊：

(1) 交通分區編碼 (Zone ID)

(2) 交通分區區心經度 (Zone Longitude)

(3) 交通分區區心緯度 (Zone Latitude)

(4) 路網節點編碼 (Node ID)

(5) 路網節點經度 (Node Longitude)

(6) 路網節點緯度 (Node Latitude)

(7) 距離 (Distance)：即交通分區區心至路網節點的直線距離，單位可為公里(km)或公尺(m)。

(三) 路徑庫產出模組

透過對活動會場周邊道路路網進行細化與編修，本子模組建置起迄交通分區間不分車種之路徑庫資料，作為大型活動交通影響分析模式系統後續交通量指派之基礎。

1. 輸入資料：

輸入資料採用「(一)交通分區車旅次分布產出模組」與「(二)交通分區

區心－路網節點產出模組」之輸出結果，並將上述兩項資料合併為至少含以下欄位的資料：

(1) 起點交通分區 (Origin Zone)：即旅次開始所處之交通分區編碼。

(2) 迄點交通分區 (Destination Zone)：即旅次結束所處之交通分區編碼。

(3) 起點路網節點 (Origin Node)：即旅次開始所處之路網節點編碼。

(4) 迄點路網節點 (Destination Node)：即旅次結束所處之路網節點編碼。

此外，輸入資料亦需包含大型活動期間未受管制之路網資訊，其中至少需包含以下欄位，供產出路徑庫與後續將路段流量轉換為路段速率使用：

(1) 節線編碼 (Link ID)

(2) 道路名稱 (Road Name)：即路段所屬道路名稱；若該路段無道路名稱，可為"-"。

(3) 節線起點 (Start Node)：即節線之起點節點編碼。

(4) 節線迄點 (End Node)：即節線之迄點節點編碼。

(5) 節線行駛成本 (Link Cost)：即通過該節線之行駛時間或距離。

(6) 節線自由速率 (Link Free Flow Speed)：即節線於自由車流狀態之行駛速率。

(7) 節線α值 (α)：屬節線 BPR 函數之參數之一。

(8) 節線β值 (β)：屬節線 BPR 函數之參數之一。

(9) 節線容量 (Link Capacity)：即單位時間內該節線所能通過的最大車流量，單位為：PCU/小時。

2. 流程：

針對分析空間範圍內之各起迄交通分區，本子模組依行駛時間或距離，採 Yen's 演算法或其他演算法求得一條或多條最短路徑，以建置起迄分區間不分車種之路徑庫資料。

3. 輸出資料：

本子模組所輸出之資料應至少包含以下資訊：

(1) 起點交通分區 (Origin Zone)：即旅次開始所處之交通分區編碼。

(2) 迄點交通分區 (Destination Zone)：即旅次結束所處之交通分區編碼。

(3) 起點路網節點 (Origin Node)：即旅次開始所處之路網節點編碼。

(4) 迄點路網節點 (Destination Node)：即旅次結束所處之路網節點編碼。

(5) 路徑序號 (Path Seq)：即該對起迄交通分區的路徑序號，依路徑行駛成本由小至大排序。

(6) 路徑行駛成本 (Path Cost)：即該路徑的行駛時間或行駛。

(7) 節線序號 (Link Seq)：即路徑所經節線順序。

(8) 節線編碼 (Link ID)：即路徑所經節線編碼。

(9) 節線起點 (Start Node)：即路徑所經節線之起點節點編碼。

(10) 節線迄點 (End Node)：即路徑所經節線之迄點節點編碼。

(四) 交通量指派模組

透過交通量指派模型，本子模組可於大型活動前進行各路徑分時交通量之事前預估，並進一步換算為分時路段流量與速率；同時，將活動會場周邊預估行駛速率低於每小時 30 公里之路段標示為警示路段，以作為後續交通維持計畫擬定及疏導人力配置等之參考依據。

1. 輸入資料：

輸入資料採用「(一)交通分區車旅次分布產出模組」產出交通分區間之車旅次分布資料與「(三)路徑庫產出模組」產出之路徑庫資料。

2. 流程：

本子模組以 60 分鐘為一分析時段，於掌握未來大型活動期間分時之車旅次分布資料後，分別於各時段建立對應之路徑庫，並透過交通量指派模型，以靜態指派(Static Assignment)之方式推估各路徑之交通量。其中，所採用之交通量指派模型可包含全有全無(All-or-Nothing)指派、增量指派(Incremental Assignment)、容量限制式指派(Capacity Restraint Assignment)等其他方式，惟本系統採自行開發之 AI 模型進行指派。另如需進一步考量旅次隨時間遞延之影響，亦可視分析需求採用動態指派(Dynamic Assignment)或半動態指派(Semi-Dynamic Assignment)方式建置本子模組。

於完成各路徑交通量之推估後，本子模組將依據分時路徑庫資訊計算各路段交通量，並採用 BPR 函數將路段交通量換算為路段旅行時間，再依「速率＝距離／時間」之關係推算路段行駛速率。隨後，本子模組以活動會場周邊之場域範圍為條件篩選相關路段，並將預估行駛速率低於每小時 30 公里之路段標示為警示路段，作為後續交通維持計畫擬定、交通疏導措施規劃及人力配置之參考依據；其中，該場域範圍與速率門檻值可依實際分析需求於本子模組中彈性調整。

3. 輸出資料：

本子模組最終所輸出之資料應至少包含以下資訊：

(1) 活動會場名稱 (Venue Name) 或活動會場編碼 (Venue ID)

(2) 活動會場中心經度 (Venue Centroid Longitude)

(3) 活動會場中心緯度 (Venue Centroid Latitude)

(4) 旅次發生日期 (Trip Date)：即旅次發生之日期。

(5) 旅次發生小時 (Trip Hour)：即旅次發生所屬之小時時段，為介於 0~23 的整數。

(6) 道路名稱 (Road Name)：即路段所屬道路名稱；若該路段無道路名稱，可為"-"。

(7) 節線編碼 (Link ID)

(8) 節線起點經度 (Start Node Longitude)：即節線起點節點之經度。

(9) 節線起點緯度 (Start Node Latitude)：即節線起點節點之緯度。

(10) 節線迄點經度 (End Node Longitude)：即節線迄點節點編碼之經度。

(11) 節線迄點緯度 (End Node Latitude)：即節線迄點節點編碼之緯度。

(12) 節線行駛速率 (Link Speed)：即節線的分時速率。

三、軌道場站之接駁車需求預估 (Rail Station Shuttle Service Demand Estimation) 模組

利用基礎單元網格分時人旅次分布之推估結果，可進一步推算大型活動期間往返活動會場與其周邊軌道場站之分時接駁車需求，作為後續接駁車路線規劃與量能規劃之參考。本模組的建置與運作如下：

1. 輸入資料：

輸入資料採用「一、基礎單元網格人流熱點預估模組」產出基礎單元網格間之人旅次分布資料，以及活動會場周邊範圍與欲分析之軌道場站環域範圍。

2. 流程：

圖 3 所示為本模組推估大型活動期間往返活動會場與各軌道場站之分時接駁車需求流程。依□界定活動會場周邊範圍及欲分析之軌道場站環域，本模組劃設二者所涵蓋之基礎單元網格；其中，軌道場站環域範圍可依需求自行定義，本系統以軌道場站為中心、半徑 1 km 之範圍作為分析環域。其次，承接「一、基礎單元網格人流熱點預估模組」所產出之人旅次分布成果，依據起迄網格中軌道場站與活動會場之面積占比進行細部拆

分，據以換算為軌道場站與活動會場間之人旅次總量。隨後，設定使用大眾運輸往返會場之人旅次占交通分區間人旅次總量之比例（參考歷年臺灣燈會之大眾運輸使用情形，本系統設定為 40%，實際應用仍可視當地大眾運輸服務與地區特性自行調整），並將前述人旅次總量乘以該比例，以推估往返活動會場與各軌道場站之分時接駁車需求。

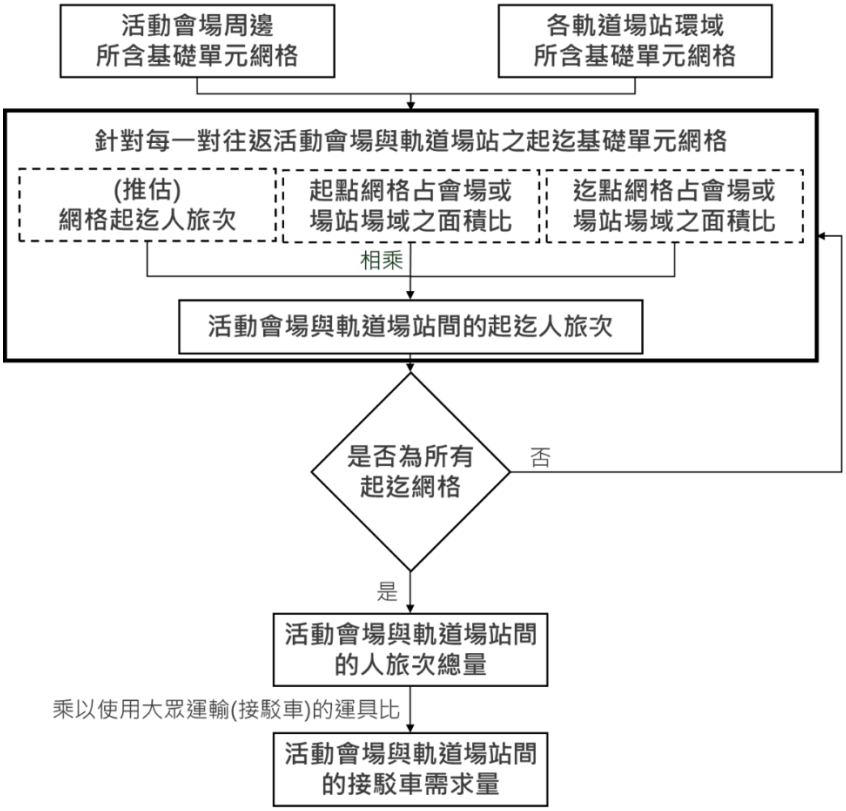


圖 3 往返活動會場與軌道場站之接駁車需求推估流程圖

3. 輸出資料：

本模組所輸出之資料應至少包含以下資訊：

(1) 活動會場名稱 (Venue Name) 或活動會場編碼 (Venue ID)

(2) 活動會場中心經度 (Venue Centroid Longitude)

(3) 活動會場中心緯度 (Venue Centroid Latitude)

(4) 軌道場站名稱 (Station Name) 或軌道場站編碼 (Station ID)

(5) 軌道場站中心經度 (Station Centroid Longitude)

(6) 軌道場站中心緯度 (Station Centroid Latitude)

(7) 旅次發生日期 (Trip Date)：即旅次發生之日期。

(8) 旅次發生小時 (Trip Hour)：即旅次發生所屬之小時時段，為介於 0~23 的整數。

(9) (自軌道場站)前往活動會場的旅次 (Incoming Trip)，為一整數。

(10) 離開活動會場(前往軌道場站)的旅次 (Outgoing Trip)，為一整數。

四、停車需求預估 (Parking Demand Estimation) 模組

利用「二、路段速率預估模組」產出之路徑庫資訊與路徑流量推估結果，可進一步推估自各方向前往活動會場的分時停車需求，作為後續規劃備援停車場與制訂停車導引之參考依據。本模組的建置與運作如下：

1. 輸入資料：

本模組之輸入資料包括「二、路段速率預估模組」所產出之分時路徑庫資訊及交通量指派結果，當中包含各路徑與各路段之交通量；另需事前界定活動會場周邊之攔截圈範圍，作為後續分析之基礎。

2. 流程：

依分時路徑庫及交通量指派結果，可掌握各時段不同路徑所途經之路段及其對應之交通量，並據以判定攔截圈上之重要路口（例如，可依指派結果將攔截圈上車輛進出量較高之路口界定為重要路口）。隨後，以攔截圈內的交通分區為迄點分區，可計算由各重要路口從外部進入攔截圈範圍內的分時進入車旅次；同時，以攔截圈內的交通分區為起點分區，可計算自各重要路口離開攔截圈範圍的分時離開車旅次。之後，計算各重要路口的分時累積淨進入車旅次，即本時段的累積淨進入車旅次乃上一時段累積淨進入車旅次加上本時段進入車旅次並減去本時段離開車旅次之數值，可視為由該路口進入之分時累積停車需求。最後，將各重要路口的分時累積停車需求進行加總，可得大型活動期間的分時停車需求總量。

3. 輸出資料：

本模組所輸出之資料應至少包含以下資訊：

(1) 活動會場名稱 (Venue Name) 或活動會場編碼 (Venue ID)

(2) 活動會場中心經度 (Venue Centroid Longitude)

(3) 活動會場中心緯度 (Venue Centroid Latitude)

(4) 重要路口名稱 (Intersection Name) 或重要路口編碼 (Intersection ID)

(5) 重要路口經度 (Intersection Longitude)

(6) 重要路口緯度 (Intersection Latitude)

(7) 旅次發生日期 (Trip Date)：即旅次發生之日期。

(8) 旅次發生小時 (Trip Hour)：即旅次發生所屬之小時時段，為介於 0~23

的整數。

(9) 路口停車需求 (Parking Demand)：即重要路口之分時累積停車需求，為一整數。

3.3 軟硬體資源需求

為確保大型活動交通影響分析模式系統能夠穩定且高效運行，本章將詳細闡述所需的軟體與硬體環境配置，內容涵蓋從開發至將事前預估結果儲存於資料庫之建議，並提供最低硬體規格參考，供建置單位依需求進行配置。

一、軟體資源需求

本系統所規劃使用軟體，包括作業系統、程式語言、資料庫及所有 Python 套件模組，均為開源軟體，在標準使用下無需支付任何授權費用。因此系統的建置與擴展在軟體層面成本是相對極低的。

(一) 核心環境

1. 作業系統：Windows 11 Pro, version 22H2
2. 程式語言：Python 3.9
3. 資料庫環境：PostgreSQL 17.6

(二) 開發與版本控制：Visual Studio Code、Git、Conda

VSCode 為主要編輯器，Git 用於版本控制，Conda 用於管理 Python 環境與套件。

(三) Python 核心函式庫

1. 數據處理與計算
   (1) Pandas
   (2) GeoPandas
   (3) NumPy
2. 路徑庫資訊產出
   (1) NetworkX (產出最短路徑使用)
   (2) Joblib (利用平行運算產出最短路徑使用，非必要)
3. 交通量指派結果產出 (非必要；惟如需自行建置以 AI 為基礎之交通量指派模型，得使用下列相關函式庫)
   (1) TensorFlow
   (2) PyTorch

(3) Scikit-learn

4. 資料庫連接

(1) psycopg2

(2) sshtunnel

二、硬體資源需求

針對基礎單元網格對數量低於 300 萬、路段數量少於 5 萬之資料規模，建議之最低硬體資源配置如下：

(一) 架構：建議採用單機架構，所有服務（應用程式、資料庫）運行在同一台主機上。

(二) CPU：現代 x86-64 架構，至少 8 核心處理器。

(三) 記憶體：至少 16 GB RAM。

(四) 儲存空間：至少 512 GB NVMe SSD，以確保快速的資料讀寫與模型載入速度。

3.4 功能驗證與效果評估方法

一、功能驗證方法

功能驗證旨在確認系統的各模組與整體流程皆可按照設計規格正確無誤地運行。建議採用分層的測試策略，從最小的程式單元到完整的端到端流程進行驗證。

(一) 單元測試 (Unit Testing)

單元測試主要目的為驗證系統中最小的獨立程式碼單元（如一個函式或一個類別方法）的功能是否如預期般正確。完整的單元測試能確保程式碼品質、降低後續整合難度與維護成本。建議測試對象清單包含但不限於：

1. 基礎單元網格人流熱點預估模組、路段速率預估模組、軌道場站之接駁車需求預估模組與停車需求預估模組：

(1) 針對歷史人旅次分布資料預處理模組，對異常判定邏輯進行測試，即輸入極端值確認程式未崩潰且邏輯正確；同時，驗證在輸入同一小時同一起迄網格對的旅次量資料後，該子模組能否聚合為每小時一筆的旅次量資料。

(2) 驗證各模組於接收一筆資料後，能否正確解析並提取出各關鍵欄位，同時驗證其能否將解析出的字串資料(如時間字串)轉換為符合資料庫儲存之資料格式(如 DATETIME 物件)。

(二) 整合測試 (Integration Testing)

整合測試的目的係為驗證不同模組之間串接的正確性，確保資料流在模組間的傳遞無誤。建議測試清單包含：

1. 資料 I/O 測試

針對各核心模組與子模組，手動執行將一批測試用的資料輸入各模組，確認各模組能正確解析並產出預期的資料欄位與型別，沒有發生因格式不符等問題導致的錯誤。

2. 預估資料處理鏈整合測試

針對各核心模組與子模組，確保其能正確接收並讀取前一模組回傳之資料以及其他所需資料，且能將經處理或預估後的資料正確傳遞給下一模組，且各模組能產出預期的資料欄位與型別。

(三) 端到端測試 (End-to-End Testing)

端到端測試之目的為模擬真實世界的使用情境，驗證整個系統從起點到終點的完整自動化流程是否順暢。建議測試情境清單包含如下：

1. 基礎單元網格人流熱點預估與服務流程驗證

(1) 前置作業：準備一組全新之「起點網格」與「迄點網格」，且具備充足之歷史分時旅次量資料。

(2) 預估結果驗證：執行該模組之全部相關函式，檢核是否成功產生對應「起點網格」與「迄點網格」之人旅次分時預估結果，並透過資料庫或交控平台進行查詢驗證，以確認該「起點網格」與「迄點網格」可正確回傳其預估成果。

2. 路段速率預估與服務流程驗證

(1) 前置作業：準備一組全新之「起點交通分區」與「迄點交通分區」，並設定該交通分區對之間的分時車旅次資料，且針對該交通分區對產出一條或以上的路徑庫資訊。

(2) 預估結果驗證：執行該模組之全部相關函式，針對上述交通分區對產出路徑庫所涵蓋之所有路段，檢核各途經路段皆具備對應之分時交通量資料，並可順利轉換為分時路段速率。最後，透過資料庫或交控平台進行查詢驗證，以確認上述路段皆可正確回傳其預估速率結果。

3. 軌道場站之接駁車需求預估與服務流程驗證

(1) 前置作業：準備一組全新之「起點網格」與「迄點網格」，並設定該網

格對應之分時人旅次分布資料，作為本模組之人旅次預估輸入資料；其中假設一處網格位於活動會場範圍內，並同步設定該活動會場之名稱或編碼，另一處網格位於軌道場站之環域範圍內，並同步設定該軌道場站之名稱或編碼，以利計算往返活動會場與軌道場站之接駁車需求。

(2) 預估結果驗證：執行該模組之全部相關函式，檢核是否成功產出活動會場與軌道場站之間之分時接駁車需求預估資料，透過資料庫或交控平台進行查詢驗證，確認上述活動會場與軌道場站組合可正確回傳其預估結果。

4. 停車需求預估與服務流程驗證

(1) 前置作業：準備一組全新之「起點交通分區」與「迄點交通分區」，設定該交通分區對之間的分時車旅次資料，且針對該交通分區對產出一條或以上的路徑庫資訊。同時，設定攔截圈範圍，並指定路徑庫中的一個節點為攔截圈重要路口。

(2) 預估結果驗證：執行該模組之全部相關函式，針對所設定之重要路口，確保該模組能正確產出該重要路口之分時累積停車需求預估結果。最後，透過資料庫或交控平台進行查詢驗證，以確認上述重要路口可正確回傳其預估停車需求結果。

二、效果評估方法

效果評估旨在量化分析系統的表現，主要分為「各模組準確度」與「系統運行效能」兩大維度。

(一) 各模組準確度評估

1. 評估方式：於各模組完成事前預估且大型活動結束後，透過購買或取得實際觀測資料，將事前預估結果(y_i)與事後實際值($\hat{y}_i$)進行比較分析，可據以計算下列評估指標。

2. 評估指標 (Evaluation Metrics)：

(1) 平均絕對誤差 (MAE, Mean Absolute Error)：$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - \hat{y}_i|$，衡量預估誤差的平均絕對大小。

(2) 均方誤差 (MSE, Mean Squared Error)：$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2$，對較大誤差給予更高權重。

(3) 均方根誤差 (RMSE, Root Mean Squared Error)：$RMSE = \sqrt{MSE}$，MSE 的平方根使誤差單位與原始值相同。

(4) 平均絕對百分比誤差 (MAPE, Mean Absolute Percentage Error)：$MAPE = \frac{100\%}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{y_i-\hat{y}_i}{y_i}\right|$，衡量預估誤差佔真實值的平均百分比。

(5) 決定係數 (R^2, R-Squared)：衡量模型對數據變異的解釋能力，越接近 1 代表模型配適度越好。

3. 合格標準：需根據實際業務需求與歷史數據的基準表現，設定各指標的合格範圍。例如，可設定驗收標準為 MAPE < 10%。

4. 鑒於實際資料取得不易，本系統於建置階段僅取得大型活動期間之手機信令資料(Cellular-Based Vehicle Probe, CVP)所推估之實際人旅次資料，以及安裝 GPS(Global Positioning System)之車輛所回傳之實際行駛速率資料(GPS-Based Vehicle Probe, GVP)，分別作為「基礎單元網格人流熱點預估模組」與「軌道場站接駁車需求預估模組」之驗證依據。經評估，兩模組之平均絕對百分比誤差(MAPE)皆小於 10%，顯示其具備高精確之預估能力。若欲進一步提升各模組預估精準度，未來可考慮取得更多類型及來源之實際資料作為補充驗證。

(二) 系統效能評估

1. 評估方式：透過壓力測試與資源監控，評估系統在不同負載下的運行效率與穩定性。

2. 擴充性測試：測試系統在處理不同數量級的基礎單元網格對及路段數量軌道場站數時，完成一次完整預估流程所需的總執行時間與系統資源承受力情形。

3. 資源使用監控：記錄主伺服器與資料庫伺服器於執行各預估模組之 CPU 及記憶體使用率。

4. 合格標準：

(1) 執行時間：一次完整的預估流程必須在合理的時間範圍內完成（例如，5 小時內應完成至少一個預估模組之運算，實際標準可依系統需求自行定義）。

(2) 資源利用率：系統在長期運行下，平均資源使用率應保持在合理範圍內(例如，CPU 長期使用率< 60%，記憶體使用率< 50%)，以保留應對突發流量的餘裕並確保系統穩定。

3.5 常見問題與風險因應

任何系統在長期維運中都會面臨各種挑戰。本節旨在透過建置經驗說明大型活動交通影響分析模式系統在數據與模型層面可能遇到的常見問題，並提供具體的技術應對策略。

一、來源資料品質問題

(一) 風險描述：所蒐集之原始旅次量分布資料可能存在缺失值、異常值或時間格式錯誤等問題。

(二) 潛在影響：不完整或異常之數據會直接導致資料預處理與預估結果失真，進而影響各模組預估結果之準確性。

(三) 因應對策：開發一個獨立的監控腳本，於執行各模組前檢核原始資料的完整率與異常率。若原始資料之缺失率或異常率超過特定預設閾值(例如 10%)，則應發出通知(如 Email、Slack 通知)給相關人員，並要求重新取得完整且正確的原始旅次量資料，以確保後續分析與預估的可靠性。

二、模型效能衰退(Model Drift)

(一) 風險描述：各預估模組可能因大型活動的性質、道路新闢、交通管制(道路封閉、限行)、交通政策改變、土地使用或人口變化、季節性因素等而逐漸發生變化，這會導致既有預估模組無法適應最新的數據模式，即「模型飄移」(Model Drift)，使得預估準確性隨時間下降。

(二) 潛在影響：系統的預估結果與現實情況的誤差會越來越大，失去實用價值。

(三) 因應對策：於大型活動結束後，蒐集實際觀測資料以評估各預估模組的準確度。同時，針對關鍵評估指標設定衰退警報閾值：例如，若連續兩次或多次大型活動的預估值之 MAPE 達到 50%或以上，即代表該模組之預估能力不佳。當衰退警報閾值被觸發時，系統應自動通知相關人員，提示可能需要重新建置或調整對應的預估模組。

第四章 整合與落地應用作法

4.1 整合應用模式

為使本預測系統的產出能無縫融入交通管理單位的日常運作，可採資料庫層級整合模式。此模式允許各交通管理單位之既有資訊平台直接讀取自身資料庫，並可結合自身應用情境進行後續開發或擴充。若交通管理單位使用之資料庫為 PostgreSQL 資料庫，其相關技術重點包括：

一、連線方式：必須設定一個專供外部查詢的「唯讀副本(Read-Only Replica)」，避免查詢壓力影響主資料庫的寫入效能。所有連線應透過 SSH Tunnel 搭配 SSL 進行加密，確保連線安全。

二、授權與權限控管：在資料庫層級實施角色為基礎的存取控制(Role-Based Access Control, RBAC)，為整合系統建立專屬的唯讀帳號，並精確授權其只能查詢特定的資料表或視圖(View)。

三、資料表結構同步：若預估系統的資料庫表結構需要更新，建議使用 Alembic Migration 等 schema 版本控制工具來管理變更，並提前通知所有依賴此資料庫的系統。

四、查詢效能與範例：提供最佳化的查詢 SQL 範例給其他資料介接單位，並確保相關欄位已建立索引。

五、備援與異常處理：應設計備援機制，例如當唯讀副本失效時，應用程式能自動切換至另一個備用副本。

4.2 系統維運建議

為確保本系統在建置完成後能長期穩定地提供高品質服務，需建立一套涵蓋數據、功能、模型到設備的完整維運計畫。

一、資料來源監控

建立自動化的資料品質監控模組，每次執行預估模組前檢測外部蒐集的旅次量等資料。檢核項包含資料的完整性(缺失率是否超過閾值）與正確性(旅次量是否在合理範圍）。若原始資料之缺失率或異常率超過特定預設閾值(例如 10%)，則應發出通知(如 Email、Slack 通知)給相關人員，並要求重新取得完整且正確的原始旅次量資料，以確保後續分析與預估的可靠性。

二、模型效能追蹤

於大型活動結束後，蒐集實際觀測資料以評估各預估模組的準確度。同時，針對關鍵評估指標設定衰退警報閾值：例如，若連續兩次或多次大型活動的預估值之 MAPE 達到 50%或以上，即代表該模組之預估能力不佳。當衰退警報閾值被觸發時，系統應自動通知相關人員，提示可能需要重新建置或調整對應的預估模組。

三、設備保養檢查

為確保系統硬體設施的長期穩定與可靠，應建立一套兼具自動化健康監控與週期性實體巡檢的雙軌保養計畫。自動化監控應透過部署監控代理程式，對伺服器的關鍵指標進行全天候追蹤，例如硬碟健康度、磁碟空間使用率、CPU 溫度及電源狀態，並設定警報閾值以即時通報異常。作為補充，建議每季進行的實體巡檢則專注於軟體無法偵測的物理層面，包含機房環境、設備散熱、線路連接的檢查，並輔以伺服器管理日誌的人工審查，以構成完整的硬體保養體系。

四、異常即時通報

將上述所有監控項目（資料、功能、模型、硬體）的警報，整合至一個統一的告警平台。設定明確的觸發條件，如「資料庫連線失敗」、「預測腳本執行超過 5 小時」、「CPU 使用率持續高於 80%」等。一旦觸發，系統應能立即透過 Email 或即時通訊軟體（如 Slack, Line）發出警報給對應的權責人員。

五、預估模組版本更新管理

為確保系統在功能迭代與安全升級過程中的穩定性，於更新任一核心模組的預估方式時，應建立嚴謹的版本更新管理流程。此流程應以 Git Flow 等標準化分支模型為基礎，並導入持續整合與持續交付（CI/CD）的實踐。所有程式碼變更在合併前需經審查，並透過自動化管線在預備（Staging）環境中完成所有單元、整合及端到端測試。唯有通過完整驗證的版本，才能被允許部署至正式（Production）環境。此標準化流程不僅適用於應用程式的功能更新與錯誤修復，同樣也應用於本系統各預估模組之部署，以及作業系統和相依套件的定期安全性更新，確保所有變更都經過嚴格的品質控管。