



國一暨台 74 匝道及 平面聯絡道號誌協控計畫

葉昭甫／臺中市政府交通局 局長

馮輝昇／交通部臺灣鐵路管理局 副局長（前臺中市政府交通局 副局長）

林大鈞／資拓宏宇國際股份有限公司 專案經理（時任遠傳電信股份有限公司 資深專員）

許添本／國立臺灣大學土木工程學系暨研究所 教授

國道 1 號貫穿臺中各大精華區，其中又以大雅、台中及南屯交流道最易發生壅塞，除聯絡臺中市境內重要工商業區域，導致短途旅次流量大，而造成交流道及鄰近道路不論平日通勤與假日旅遊返鄉之重現性壅塞外，更重要的是國道 1 號與台 74 快速道路之間並無直接銜接之聯絡道，導致高快速公路互轉之車流須穿越大雅、臺中或南屯交流道，例如台 74 北屯交流道透過中清路與大雅交流道銜接，惟其距離過近、尖峰時段車流量過大、號誌停等車流相互干擾，經常由高快速公路匝道回堵至地方道路。

為改善國道 1 號與台 74 線匝道與平面聯絡道之壅塞狀況，臺中市於 106 年度起，透過導入區域號誌管理與控制系統，分別在大雅、台中及南屯交流道，執行區域協控計畫，藉由以交通運輸模型為基礎之智慧號誌管理決策支援系統，配合交通工程方案，使得交流道周邊區域的交通獲得改善。總計於 20 組路口執行動態號誌控制，約使得交流道周邊區域的總旅行時間減少最多達 40%，路口停等延滯減少最多達 15%。

前言

隨著城市活動人口的逐年成長而衍生的交通需求，導致更嚴重的交通壅塞，常發生於通勤上班的高峰時段，或者連續假期。因此，交通運輸專家們無不致力於新交通管理技術的開發，以降低交通壅塞所帶來的不便與衝擊。智慧運輸系統 ITS（Intelligent Transportation System）的技術演進，便是目前交通主管機關和交通專業專家最常採用的交通管理工具與手段，其中，動態號誌控制是用來管理區域交通或運輸走廊的主要方法。

新一代的動態號誌控制技術，乃透過多元交通資訊如車輛偵測器 VD（Vehicle Detector）、eTag 車輛標籤辨識讀取器、或者探針車資料如 GVP（GPS-Based Vehicle Probe）或 CVP（Celluar-Based Vehicle Probe）

的資料，藉由 4G 以上通訊設備的即時傳輸，使號誌控制模組於短時間內透過所接受的交通資訊計算出當下最佳的號誌控制組合方案，並快速下達指令，更改下一周期的號誌控制方案。例如，因某路口方向的車流過多，無法於單一週期的綠燈秒數紓解全部的停等車輛，則於下一週期適度延長綠燈秒數，使全部的停等車輛均能通過。

德國 PTV GROUP 為國際知名的交通軟體開發公司，致力於開發有助於交通管理和控制的軟體系統。目前，PTV GROUP 開發之 PTV OPTIAM & BALANCE 系統，可即時將取得之交通資訊以演算法分析最佳化號誌控制方案，向控制路口下達新的號誌控制方案，並且可以每 5 分鐘的頻率穩定的更新與執行。

臺中市由於各大精華區被國道 1 號所貫穿，且大

雅、台中、南屯三處交流道與快速公路台 74 比鄰卻無直接銜接之聯絡道，形成交流道為高速公路、快速公路、市區主要幹道中清路、臺灣大道、五權西路交會複雜車流情況，造成交流道周圍的嚴重交通壅塞問題。因此，臺中市政府於 106 年度起，嘗試透過一連串的交通工程改善作為，和導入 PTV OPTIMA & BALANCE 系統之交通管理與控制手段，改善三處交流道區域的壅塞交通問題，如圖 1 所示。路網建置範圍如圖 2 所示。



圖 1 106 與 107 年度智慧號誌協控實作範圍



圖 2 本計畫 VISUM 路網建置範圍

智慧動態號誌技術之相關文獻

關於智慧動態號誌技術之相關文獻很多，本文以計畫導入之 PTV OPTIMA & BALANCE 系統之技術作為主軸說明之。

即時模型基礎 (Model-Based) 交通管理邏輯

所謂以即時模型為基礎的交通管理方法，是透過對於區域交通路網的分析與詮釋，解析區域路網的需求與供給平衡狀態，並且依據解析結果為基礎，整合即時之真實交通數據資料，透過軟體工具如 PTV OPTIMA 計算輸出交通管理所需之短期 (60 分鐘以內) 動態預測結果。

因此，巨觀交通運輸模型的建置是必要的，利用 PTV VISUM 這樣的巨觀交通運輸指派軟體，配合交通歷史資料如高速公路 ETC、各級道路系統上的 VD、eTag 配對的路徑旅行時間、家訪調查和信令推估之 OD 矩陣... 等，可透過巨觀交通需求模型的演算程序產出每個日類型 (例如星期一) 的不同時段 (例如上午八至九時) 圖資系統上各個道路的指派車流量、平均車速... 等交通參數。

在 PTV VISUM 建置的交通運輸模型是靜態的模型，然而，在即時的交通管理的當下，靜態模型的數據並無法因應當前的交通狀態做預測，因此，需再透過 OPTIMA 系統轉成動態模型進行預測，同時將一個規劃模式 (Planning Model) 轉成運作模式 (Operation Model)。首先，OPTIMA 系統先把 VISUM 產出的靜態交通運輸指派結果輸入，作為基礎的路網供需模式資料，然後，OPTIMA 會以每 5 分鐘的頻率，蒐集多元交通資訊所提供的即時數據，這些數據可能來自車輛偵測器、eTag 旅行時間配對資訊、利用探針車資料推估的 GVP 或 CVP 旅行時間... 等。OPTIMA 的動態模式會根據即時取得的交通數據和靜態模型的資料做整合分析，依照模型分析之轉向比例，以流量傳遞 (flow propagation) 的方式，即時回饋給全部的模型路網做調整。此方法的優點是，不需要在即時情境下採用離線模型複雜的路網指派程序，而是藉由可比較分析靜態模型和真實數據差異的部分路段，以流量傳遞方法適度調整整體路網 (包括沒有車輛偵測器的大部分路段)，節省了大量的系統計算時間，確保系統能夠每 5 分鐘更新動態模型的路網數據，並且能因應突發性交通事件發生下的分析預測。整體系統邏輯架構包含 VISUM、OPTIMA 及 BALANCE，如圖 3 所示。

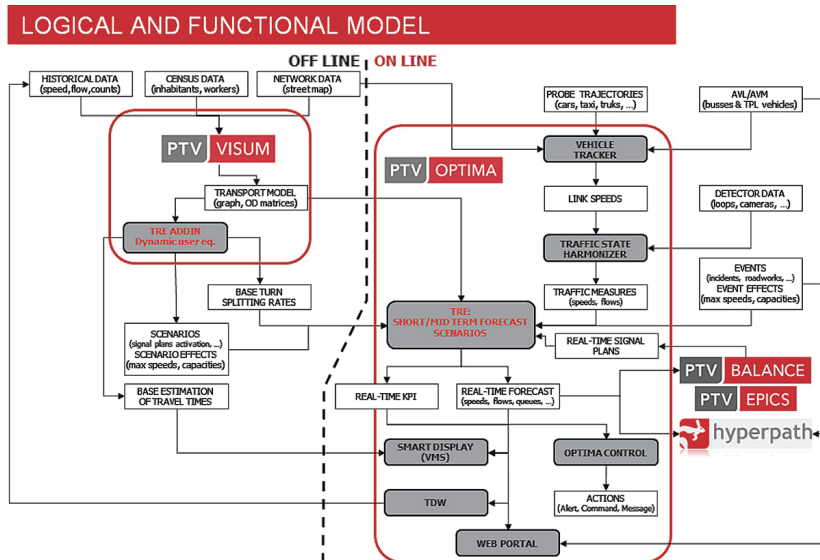


圖 3 PTV OPTIMA & BALANCE 系統邏輯架構圖

適應性動態號誌控制

PTV GROUP 所開發的適應性路網控制系統 PTV BALANCE 的前身是德國的專案研究計畫 — “Munich Comfort” (Friedrich and Mertz 1996) and “Tabasco” (Friedrich *et al.* 1998)。單一路口的適應性動態號誌控制是能夠因應路口不同方向的车流量多寡或擁擠程度，調整為合適的時制計畫方案，例如增加較壅塞路口方向的綠燈時間以達到盡快紓解塞車的目的。從單一路口的適應性動態號誌控制擴展到路網的原理相同，但需要考量到的因素也更為複雜。PTV BALANCE 即為整體路網動態號誌時制產生的模型，如圖 4 所示。此系統除了能夠以自身系統做到動態路網控制，也能夠透過與 PTV OPTIMA 的巨觀動態路網模型結合，納入預測下一時段的交通量，據以產生下一時段之號誌時制，強化動態號誌控制的效率。

BALANCE 的控制邏輯架構是由兩階段範疇組成，包括 Level 1 巨觀與 Level 2 中觀模式，如圖 5 所示。

Level 1. 巨觀 OD 推估與路網指派

所謂 OD 推估，是指對 OD 矩陣每個交通分區之間，從起點邊界離開到迄點邊界進入的車流量（車 / 小時），模型依據靜態矩陣和控制區域的邊界流量（可能是推估值、測量值、或融合數據），作為 OD 推估的基礎；交通指派的部分，是指將 OD 作為輸入參數，配合路網將流量分配到不同的道路上，採用增額多重演算法（incremental multiple algorithm），流量可能會以 10%、20%、30%、40% … 或更多的比例指派到區域，並且以最短路徑為演算目標。

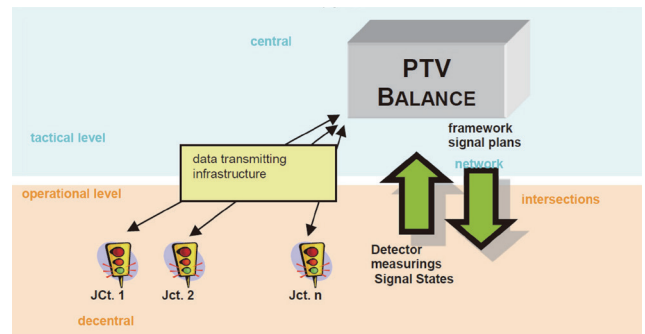


圖 4 PTV BALANCE 動態控制號誌燈方式

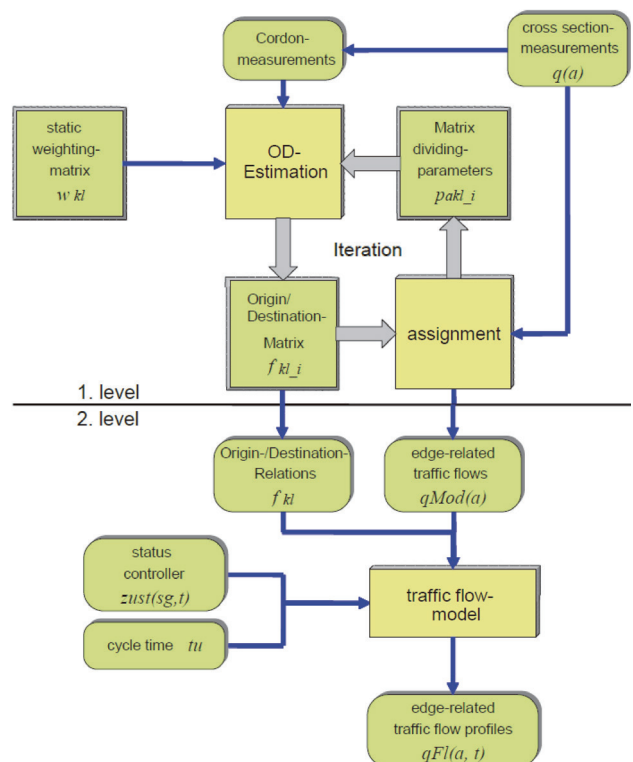


圖 5 BALANCE 控制邏輯架構

Level 2. 中觀車流模型 (Traffic Flow Model)

中觀車流模型乃借助 Level 1 巨觀模型的產出，結合路口號誌計畫，定期地以區域最佳化為目標作號誌計畫的分析。中觀的車流模型是一個 second-by-second 的模型，分析的目標是掌握整個區域路網各路段在每個週期各時相的進入與離開流量。以下圖 6 為例，橫軸為時間 (秒)，縱軸為每秒的車流量， S_{sg} 代表號誌群組 (時相) 的飽和流量， t_U 為號誌週期，代表在一個週期內，從週期開始的第 1 秒到最後 1 秒，抵達路口的每秒車流分布狀態。

對於一個號誌化路口而言，車流的觀察主要是進入路段 (inflow)、離開路段 (outflow)、以及可紓解的車流量，這三種流量即構成一個號誌群組 (時相) 的車流變化。在沒有號誌阻礙的路段，車流能夠以穩定的分配進出路口，但號誌化路口因為有紅綠燈配時的規範，所以每個週期會進入到路段的車流也會受到路段起訖路口的紅綠燈影響，最後車流進出路段的分布通常是以車隊的形式批次進出，即圖 6 中的橘色範圍，紅燈期間會在路口累積排隊車流，綠燈期間會先有一段時間紓解排隊車流，後一段時間則將從上游路口進入的車流紓解直到下一個紅燈發生。

離開路段的流量多寡與一個時相是否能成功紓解排隊車流有直接的關聯。不同的號誌群組 (時相) 會因為路口特性有不同的飽和流率 (pcu/秒)，在紅燈期間通過的流量是 0，若綠燈時間於第 t 秒開啟且「排隊車流 + 可紓解車流」> 飽和流量 (綠燈時間可服務的最大流量)，則綠燈時間的離開流量等於飽和流量，代表仍有車輛未能在綠燈時間內被紓解，反之等於「排隊車流 + 可紓解車流」。

對於中觀交通模型而言，基本的路段通過車流參數可定義為：

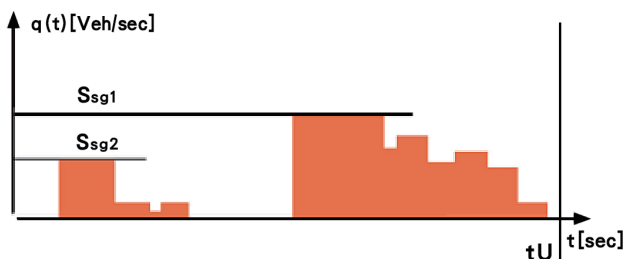


圖 6 車流模型掌握週期內車流變化之示意圖

$$q_{Fl}(a,t) = (q_{Mod}(a))/3600 \quad \text{for } t = (1 \cdots t_u)$$

代表透過路網指派後，以路網內各路段的小時流量為基準，分析之平均每秒通過流量。而在即時運算的環境時，透過蒐集路側設備提供的流量資料，便作為模型比對當前路口離開流量和模型推估離開流量的主要判斷依據，進而掌握當下各號誌群組 (時相) 的情況。以實際案例說明之，如圖 7 所示，縱軸為抵達路口的車流量，橫軸為某時相 150 秒週期的經過時間，綠色區塊為綠燈時間，紅色區塊為紅燈時間，黑色線條為根據偵測器數據推估之車流量消長分布。一開始為綠燈，綠燈開始時的車輛排隊數量為 6 輛，超過飽和流量 2，但在幾秒之內獲得紓解。第 50 秒紅燈開始後，隨後而來的車輛重新進入排隊的現象。

BALANCE 系統做動態號誌控的架構，從輸入的資料端 (車輛偵測器或 OPTIMA 的預測資料) 開始，進入到系統的演算程序，以前述的控制邏輯，演算路網的車流模型，最後將最佳化演算 (採用基因演算法) 的時制計畫方案，透過通訊模組從交通控制中心的終端 (或雲端) 伺服器傳送到號誌控制器做最後的執行，系統以每 5 分鐘的頻率，持續輸入資料 最佳化演算 執行新的號誌控制方案，如圖 8 所示。

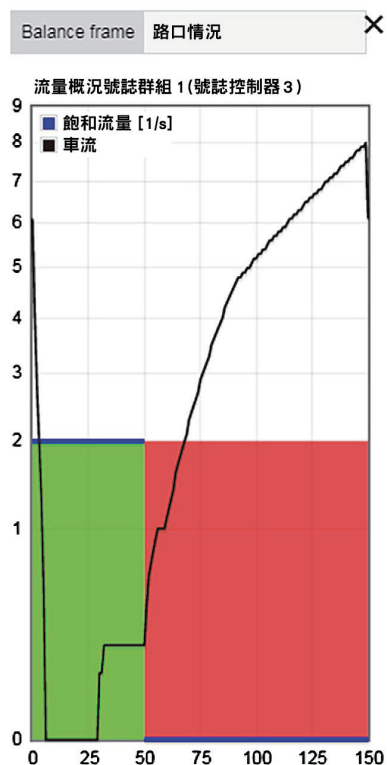


圖 7 實際路口車流排隊消長推估圖

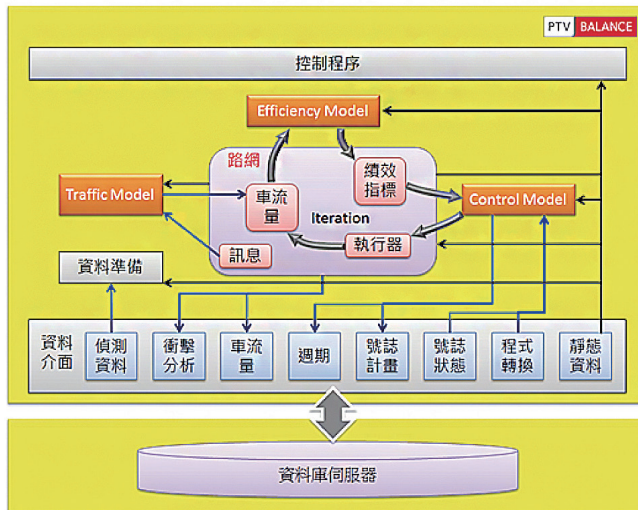


圖 8 BALANCE 動態號誌控制系統架構圖

智慧交通管理系統建置

智慧交通管理系統的建置包括：巨觀交通運輸模型的建置為本計畫的基礎工作，主要包括交通運輸模型的建與交通歷史資料的蒐集和分析兩大項目，及路側設備建置及整體系統架構與功能等。

VISUM 交通運輸模型

巨觀交通運輸模型以 PTV VISUM 模擬軟體建置，根據既有臺中生活圈 TCPM 模型總計有 327 個交通分區（這些交通分區是由各個村里所組成），再根據區域控制的需求對交通分區做切分後，以 402 個分區作為 OD 矩陣的起訖地區。路網的部分，以 15 公尺以上道路為主，總計模型建置範圍有 12,097 條路段（links）和 4,959 個路口（nodes）。

歷史資料蒐集與分析

1. 國道 1 號及台 74 快速公路

根據 106~108 年的 ETC 資料分析結果，大雅段（豐原-臺中）流量最高，平日 7.5~7.8 萬輛車；台中段（大雅-南屯）次之，平日 6.0~6.5 萬輛車；南屯段（臺中-王田）最少，平日 5.4~6.0 萬輛車，流量由北往南遞減。假日的流量約是平日的 1.2~1.3 倍，連續假日的交通量是假日的 1.1~1.2 倍。因此，連續假日和假日對交流道周邊區域造成的交通負擔比平日更多，且假日的尖峰時段範圍較平日更長，是本計畫實作範圍交通管理與控制措施的一大考驗。

2. 市區道路

與大雅交流道交會的地區道路是臺中市外環道路環中路，以及連絡臺中市區和大雅區的中清路，由圖 9 可知，北側交流道出入口進城方向流量最大，即便是離峰時段仍每小時超過 2,000pcu，環中路往西方向常匯集北屯方向環中路和台 74 的車流欲往國 1 的車流，特別是上午尖峰 7~9 時亦每小時超過 2,000pcu，中清路往北方向於上午 7~8 時流量也逼近 2,000pcu。由此可見，大雅交流道周邊區域主要受到瓶頸路口環中路、中清路、大雅交流道的高交通需求，導致路口常無法負荷龐大車流量而塞車。



圖 9 大雅交流道區域車流量平均分布（週二~四）

與台中交流道交會的主要市區道路是臺灣大道，是台中市最重要的市區道路，自台中火車站往西延伸至台中市政府、東海大學、臺中港。由圖 10 可知，臺灣大道自上午 8 時起，車流量維持在快慢車道嘉總超過 2,000pcu 的高流量狀態，且快車道的 4 個車道（含公車專用道）雖然是慢車道 2 個車道的 2 倍，但車流量僅 1.2 倍，常導致慢車道發生嚴重的壅塞問題，加上新光與遠



圖 10 台中交流道區域車流量平均分布（週二~四）

百貨的停車車潮，也成為往市區方向的主要壅塞來源。

與南屯交流道交會的市區道路是五權西路，南屯交流道區域因為其西邊是臺中工業區，故主要幹道五權西路的東西方向有尖峰方向特性，往西方向以上午尖峰 7~8 時車流最多，往東方向以下午尖峰 17~18 時車流最多，如圖 11。

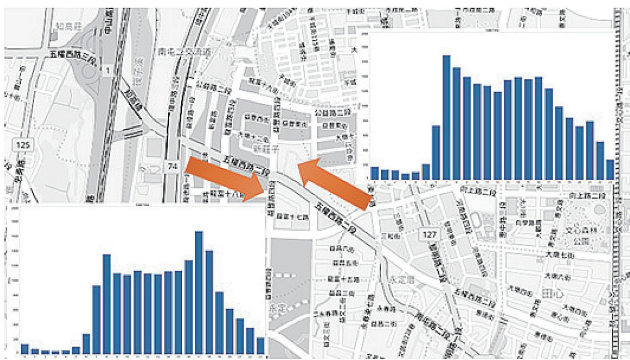


圖 11 南屯交流道區域車流量平均分布 (週二~四)

道路旅行時間與服務水準部分，大多數路徑的旅行時間在上午 8~10 時與下午 16~19 時較高，整體而言，下午 17~18 時是大部分路徑行駛最不順暢的時段，若以道路服務水準分析之，結果如圖 12，大部分路段在下午 17~18 時服務水準不佳。

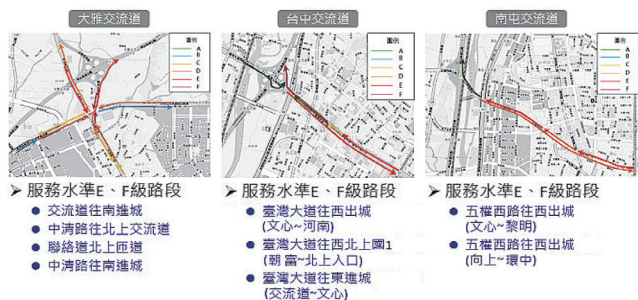


圖 12 市區道路速率服務水準 (改善前)

路側設備建置

本計畫導入的智慧交通管理系統，除了來自於交通模型和歷史資料分析的基礎資料之外，為了即時的動態交通管理與控制，須仰賴路側設備提供的即時交通資訊，結合系統演算法產出動態號誌計畫。因此，路側設備的功能、數量、以及設置位置，都必須要能夠符合系統動態號誌控制的需求。

本計畫總共分兩期，第一期 106~107 年，在大雅交流道區域周邊總計建置雷達式車輛偵測器 VD22 組、eTag 旅行時間偵測器 15 組、CCTV 監視器 12 組、CMS 資訊可變標誌 4 組、可遠端連線的號誌控制器 11 組；

第二期 107~108 年，在台中交流與南屯交流道周邊總計建置 40 組 360 度魚眼影像式偵測器 VD、eTag 旅行時間偵測器 12 組、CCTV 監視器 9 組、汰換 CMS 資訊可變標誌 3 組、可遠端連線的號誌控制器 11 組。其中，魚眼影像式偵測器也具備 AI 技術與機車辨識能力。

智慧交通管理系統架構

我們上述的整體系統稱為 PTV 系統。要導入 PTV 的系統，並且達到改善區域交通的目的，在本計畫除了 PTV 系統的建置外，還包括與台中原有的 TOPIS 系統的整合，以及建立和高速公路局、公路總局、以及警察局單位的溝通協調機制。

系統整合的目的，是因為本計畫導入的 PTV 系統屬於台中既有的交通管理系統 TOPIS，作為一個專門執行區域動態號誌的子系統，因此，在輸入與輸出端的部分，得透過系統整合完成資料交換動作，架構如下圖 13，整合的重點是路側設備資料的輸入與動態號誌控制和 CMS 訊息發布的輸出。

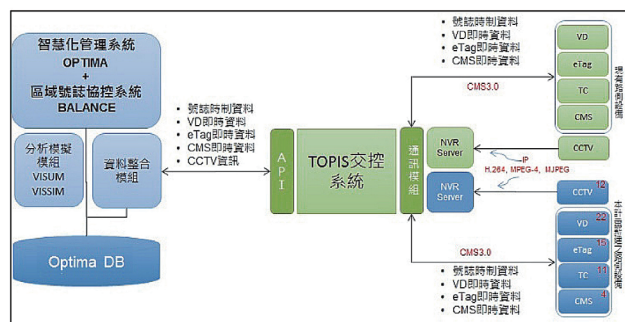


圖 13 PTV 系統與台中 TOPIS 整合架構圖

至於與其他機關的協調機制部分，以台中市政府交通局的立場而言，由於交流道周邊區域的壅塞情況常與高速公路匝道出入口的回堵有很大的關聯，故和高公局之間的協調格外重要。除了藉由通訊軟體群組強化不同單位之間的協調，也希望能夠透過智慧管理系統強化對於交通狀況的掌握，作為有利於機關協調時的客觀交通資訊幫助決策。因此，本計畫也利用 PTV 系統的預警功能，藉由高速公路主線和匝道的即時旅行時間與流量資訊，提供預警預測作為機關衡量匝道儀控開啟、關閉、或者放寬的決策依據。

綜合以上，本計畫系統執行區域動態號誌控制的運作流程，可彙整如圖 14 所示。首先，系統在離線的部分，藉由交通歷史資料的蒐集，在巨觀模型 VISUM

分析整體交通情況，將校估好的靜態交通模型安裝到 OPTIMA 中；接下來，OPTIMA 即時整合路側設備或其他交通資訊來源，將離線交通歷史資料和線上即時交通資料進行整合，完成整體區域的路網分析、交通預測，並針對事件影響進行即時評估。最後，系統透過中觀模式 BALANCE，以區域最佳化為目標，因應

交通情況調整號誌計畫，並且在必要的時刻發布替代路徑導引資訊（同時與導引路徑有關的號誌會配合執行），使區域系統內的機動運具以更合理、更具行駛效率的方式行駛。此外，系統也藉由匝道儀控事件的預警功能，提供相關資訊予高公局交控中心，作為匝道儀控決策的主要依據。

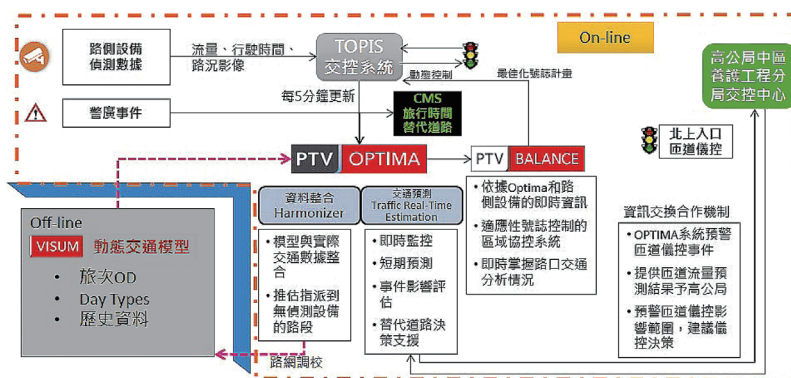


圖 14 PTV 系統與台中 TOPIS 整合架構圖

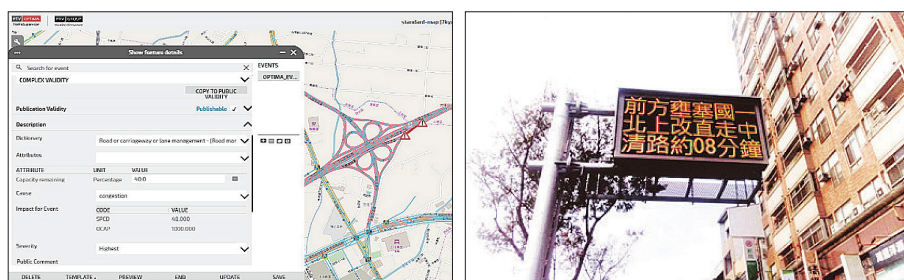


圖 15 匝道儀控預警與替代路徑導引實際畫面

表 1 智慧交通管理系統功能列表

OPTIMA	BALANCE
系統管理權限設定	區域動態控制執行
路網績效服務水準（流量、速率、V/C、LOS、queue）	區域動態控制模擬資訊
短期交通預測（10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 分鐘）	視覺化調整介面（底圖、圖層、道路、路口號誌、時相、續進綠波）
設備情況監控（VD, CCTV, CMS, TC）	號誌計畫資訊
道路事件預警（警廣資訊、自訂、匝道儀控預測）	時相紓解情況模擬
替代路徑導引資訊發布	區域模擬前後績效分析
KPI 儀表板	後台 Log 檔紀錄資訊

智慧交通管理系統功能

本計畫建置的智慧交通管理系統功能彙整如表 1，OPTIMA 是巨觀的交通管理系統，主要功能是巨觀交通模型的分析與預測、路側設備交通資訊的呈現、道路事件預警、替代路徑導引資訊發布、重要 KPI 資訊透過儀

表板的監控；BALANCE 是中觀的動態號誌控制系統，主要功能是動態號誌控制，並且在視覺化的 UI（User Interface）介面上呈現即時的區域交通控制所須的交通資訊，例如號誌狀態、時相狀態、路口飽和度、排隊長度、路口延滯... 等。相關系統畫面如圖 16~20。

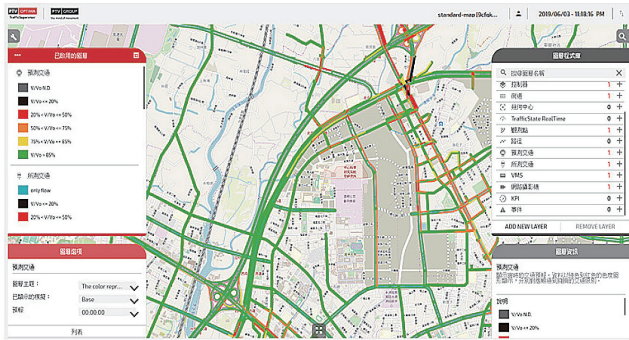


圖 16 OPTIMA 路網交通績效畫面

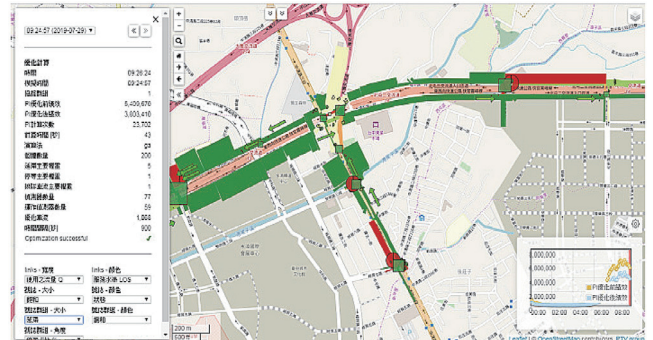


圖 20 BALANCE 系統畫面

智慧交通管理系統調校

由於本計畫系統是以交通運輸模型為基礎發展，核心技術是動態號誌最佳化方案的演算法，且所有的動態號誌控制方案都需要基礎交通運輸模型具備一定程度以上的準確度，方能確保系統運作能夠因應即時的實際交通情況，故系統調校之於本計畫是相當重要的工作。系統調校工作可以分為 OPTIMA 和 BALANCE 兩部分，OPTIMA 系統的調校工作側重在巨觀交通運輸模型路網流量的準確度；BALANCE 系統的調校工作側重在動態號誌控制方案是否能因應實際現場的交通需求，順利紓解排隊車流，確保現場交通運行之順暢。

OPTIMA 的調校包括模型的需求與供給層面。需求的部分，是比較從 VD 偵測到的實際流量和模型指派流量，包括個別路段與所有路段，個別路段以迴歸分析模型和實際值，所有路段則是以「GEH statistic」統計量當作指標，通常 $GEH < 7$ 代表兩組交通流量具有相當高的吻合程度。本計畫調校結果顯示， $GEH < 7$ 的被偵測路段佔全體的百分比達 86.31%，代表本計畫模型在線上的模擬流量和實際流量具有足夠的比較水準；供給的部分，以調整道路的交通參數為主，例如道路容量、自由流速...等，其中，以道路容量最為重要。校估的方法也是透過 VD 流量和速率的統計分布，配合號誌化路口各方向的綠燈時間，分析道路容量是否增加或減少。



圖 17 OPTIMA VD 圖層查詢車流量資料畫面

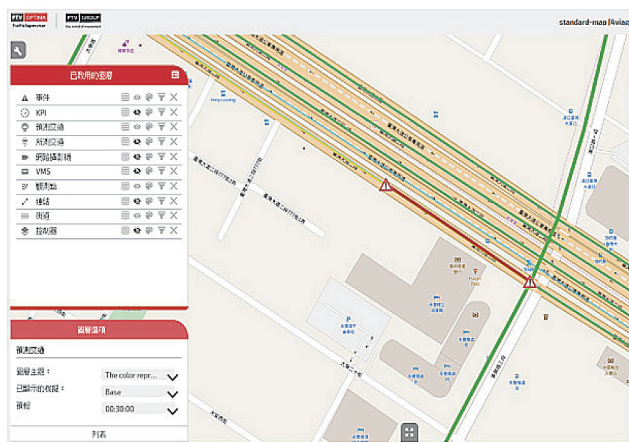


圖 18 OPTIMA 道路事件預警畫面

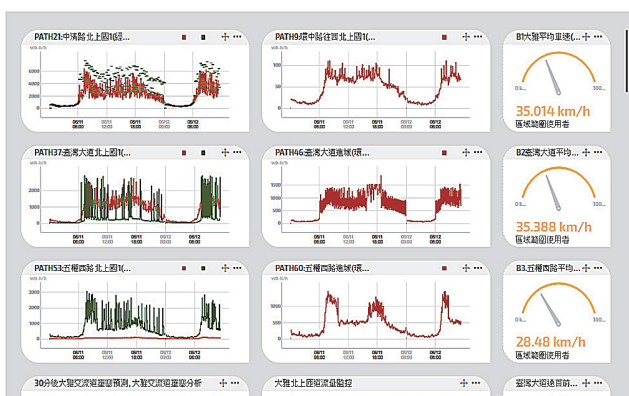


圖 19 OPTIMA 區域 KPI 儀表板

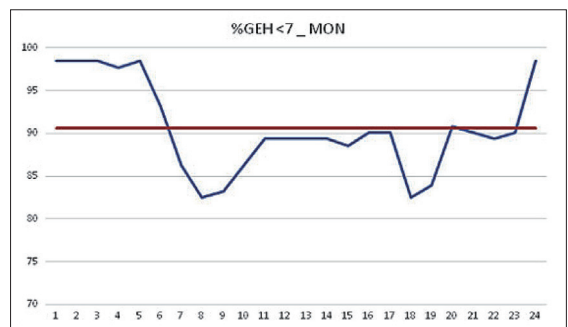


圖 21 巨觀模型路網之 GEH 統計分析

BALANCE 的調校包括系統上線前和系統測試期間。系統上線前先透過已經驗證的 VISSIM 微觀模擬模型作最初始的動態號誌控制參數確認與調整。然而，畢竟 VISSIM 的模擬通常是在與現實環境相比之下較理想的車流狀態，例如：所有的 VD 運作正常、外在因素的影響固定，由此分析車流變化、左右轉延滯、動線衝突延滯、路段延滯 … 等，且 VISSIM 模擬時機車並沒有轉換為 pcu，而模型中的飽和流量一般採用預設值，因此，為避免以上種種因素會使 VISSIM 的模擬結果和現場存在誤差，系統測試期間必須利用現場觀察確認系統運作結果能否解決現場交通問題，做出必要的調整。

現場測試調校的內容，主要針對影響系統動態號誌控制的主要參數，包括各時相的最大可通過容量設定、最小或最大調整綠燈時間的自由度、各時相的權重 … 等。例如：路口紓解能力可透過時相的容量設定調整、VD 或模型的車流量若與實際情況有較大落差則縮短綠燈自由度或使用原時制的綠燈時間、某時相應常時得到更多的綠燈時間分配的機會則透過權重的設定調整。調校的過程須持續在系統上觀察動態執行的綠燈時間和飽和度 (Saturation Flow Rate) 之關係。雖然路口各時相之間會有互相競爭的關係，但通常大多數情況下，綠燈時間的增減變化會跟車流量與飽和度呈現正相關。關於系統分析的飽和度公式如下，定義與車流量和道路容量比值 V/C 接近：

$$r(sg) = \frac{\sum_{eaA} qMod(a)}{tgr(sg) \cdot S_{sg}} \cdot \frac{tu}{3600}$$

其中， $r(sg)$ ：路口飽和率

A：路口控制的車道數量

$qMod(a)$ ：模式流量

$tgr(sg)$ ：綠燈時比

S_{sg} ：飽和流量 (veh/sec)

u ：週期

$qMod(a)$ 實際執行時若 VD 偵側的流量是可以信賴的，則會直接採用 VD 的偵側流量， S_{sg} 的基本設定是 2veh/sec。

偵測機車流量於動態號誌控制系統之應用

機車問題一直是台灣的交通特色之一，在幾個亞洲國家才普遍存在的機車問題，使得由德國廠商 PTV

GROUP 所開發之動態號誌控制系統如何在系統中處理機車成為一個課題。在市區道路行駛時，機車具有高機動性的特色，使得機車在遇到紅燈時，會盡量往路口前方行進直到無法移動為止，為了有效規範機車的停等或轉彎行為，避免汽機車行駛時產生過多的交織與衝突，我國也在一些路口設置必要之機車停等區或機車待轉區，此類管制措施也使得機車通過路口的行為和汽車有所差異。

機車在交通模型的處理，一般而言，由於交通模型在車流量的分布，最終產出常以小客車數量為單位，故將機車車輛數轉換為小客車當量統計之。此方法雖然合理，但應用在交通控制時，可能會因以下因素導致控制結果的誤差：(1) 機車轉換為小客車當量數若為固定值，可能無法反應不同道路條件下的機車紓解情況；(2) 機車的起步時間比汽車快，且綠燈起始時多數機車均在路口前方，紓解效率遠高於小客車，若機車轉換為小客車數量可能高估排隊車流的紓解時間。

BALANCE 在導入本計畫之前，機車流量的來源有二，第一是車輛偵測器提供的即時機車車流量；第二是巨觀交通運輸模型的推估結果。但是，不論是哪一個來源，最終都會轉換為小客車當量後納入系統的演算。本計畫第二期所採用的車輛偵測器魚眼 VD 可偵測機車，且辨識率經驗證達到標準，因此，在台中與南屯兩交流道區域的交通控制也納入系統利用即時機車流量演算之研究。

對於 BALANCE 系統而言，機車轉換為小客車當量是否會影響號誌控制決策是一項重要的課題。依照國內道路容量手冊的規範，號誌化路口的機車轉換為小客車的當量介於 0.3 ~ 0.42，要驗證 BALANCE 動態控制時應如何選擇合適的轉換當量，本計畫在台灣大道、朝馬路、五權西路進行錄影調查，分別在尖峰與離峰時段，以每 10 秒鐘為單位紀錄通過路口停止線的大型車、小客車、機車數量，每次調查持續 15 分鐘，以簡單回歸統計分析每個週期內各車道綠燈時間不同車種通過路口的數量差異。此實驗設計的主要目的，是觀察每次綠燈時間，各車道上的車種分布以及其通過路口的效率。

分析結果顯示，在不同的三條道路上，小客車與機車數量對比的斜率關係幾乎一致，但是在不同的車道則有顯著的差異，詳表 2。外車道斜率值介於 0.152

~ 0.243，內車道介於 0.265 ~ 0.405，差異相當顯著，與實際車流行駛情況比對觀察後，此原因與外側車道總是有明顯較多的機車有關，因為機車騎十多數傾向於在外側車道行駛。

表 2 各車道小客車對機車之斜率值

路口方向	車道屬性	小客車對機車之斜率值
環中路 / 朝馬路往西方向	2 (內車道)	0.265
環中路 / 朝馬路往西方向	3 (外車道)	0.161
臺灣大道 / 惠中路往東方向	1 (內車道)	0.281
臺灣大道 / 惠中路往東方向	2 (外車道)	0.204
臺灣大道 / 惠中路往西方向	1 (內車道)	0.405
臺灣大道 / 惠中路往西方向	2 (外車道)	0.152
五權西路 / 環中路往西方向	4 (外車道)	0.243

基此，本計畫評估外車道和內車道應採用不同的機車轉換小客車當量，外車道採用 0.17，內車道採用 0.27。此次分析結果其實遠低於台灣公路容量手冊定義的數字 0.3 ~ 0.42，但經比較後，在本計畫範圍實施動態號誌控時，採用此轉換當量數可大幅減少動態號誌控的高估秒數，明顯提升了號誌控制的績效。

系統執行績效

本計畫系統分別在大雅交流道、臺中交流道、南屯交流道周圍實作，三個交流道周圍的交通特性不一，以下分別說明三個交流道道周圍區域的執行成果。

大雅交流道

大雅交流道自 106 年開始執行 6 處動態路口控制，並且 107 年度再擴充 3 處動態路口控制，合計 9 組路口，並且，大雅交流道在 106 年和 107 年建置動態號誌路口前，都先實施交通工程改善道道路容量不足與車流動線交織問題，因此，臺中市政府對於大雅交流道周邊區域的交通改善策略，其實是交通工程先行，再利用智慧交通管理系統作交通控制改善。過程整理如下表 3。

整體路網績效的部分，106 年 9 月和 12 月的交通工程改善方案，已經大幅改善了大雅交流道 / 環中路 / 中清路路口的紓解問題，並且於 107 年 1 月 BALANCE 系統上線後，動態控制 6 處路口，確認本計畫導入系統對整體路網績效帶來平均旅行時間減少 9.4% 效果。107 年 2 月南向引道工程尤其關鍵，使得最關鍵的交通

表 3 大雅交流道周邊交通改善過程

時間	改善策略	執行內容	執行成效
106 年 9 月	交通工程改善	大雅交流道聯絡道往南方向，因左轉車流佔該路口方向 50% ~ 60% 的高比例，導致該路口方向常因左轉車流過多回堵影響南下匝道出口，嚴重時會導致南下出口回堵至高速公路主線，因此，調整路口中央分隔島偏左，新增設一 100 公尺左轉專用道提高左轉車流的儲車空間。	左轉車道儲車空間增加，改善路口車流疏解能力，最大 5 分鐘流量從 140 pcu 增加至 167 pcu。
106 年 12 月	交管工程改善	國 1 北上匝道僅 1 車道，路肩不開放通行，配合假日常態性在北上匝道的回堵問題，調整為：假日 10 ~ 12 時與 14 ~ 17 時固定開放，並於連假期間彈性開放。	飽和疏解量提升 95%，最大 5 分鐘流量從 64 pcu 增加至 118 pcu。
107 年 1 月	動態路口控制	在大雅交流道周邊 6 組路口實施 BALANCE 動態控制，並且在 CMS 上發布替代路徑導引和路徑旅行時間資訊。	系統上線事前事後 2 週績效分析結果，整體路網旅行時間減少 9.4%。
107 年 2 月	交通工程改善	大雅交流道 / 環中路 / 中清路有兩相鄰路口，但受限於中清路往北方向分岔為交流道方向是北向單行道，致環中路左轉或交流道出口往市區方向車流，需於緊鄰路口環中路 / 中清路口停等後再左轉進入市區，且緊鄰路口街廓短儲車空間過低，增加許多路口停等延滯和擴大溢流效應。因此，在中清路往交流道岔路口往北單行增加往南方巷引道，便利往市區方向車流直接利用此路段。	此調整結果大幅簡化路口車流動線，使高速公路南下或中清路進城方向的車流減少 24% 的回堵情形。
107 年 12 月	動態路口控制	擴充大雅交流道周圍 BALANCE 動態控制路口數量至 9 處。	對比重新上線前一個月的調查結果，路口停等延滯總體提升約 15%。

南向引道通車前兩路口連接道路常壅塞



南向引道通車後兩路口連接道路順暢



圖 22 107 年 2 月南向引道工程前後區域淨空效果空拍圖

瓶頸路口車流動線簡化，大幅降低進城方向的交通壅塞情狀，107 年 12 月擴充 BALANCE 控制路口為 9 處後，比較 107 年 12 月後與 107 年 1 月的績效結果相當顯著，總平均旅行時間減少 40.9%，平均每日通過車流增加 30.3%，如表 4 所示，為「交通工程改善先行，再利用智慧交通管理系統做動態控制管理的良好典範。」

惠來路、河南路、朝富路、黎明路交會的連續 5 處路口，另外兩處路口則分別是環中 / 朝馬路、環中路 / 市政路。動態控制系統的執行成果如表 5 所示，可知旅行時間減少的幅度約 7%，而路口停等延滯的效果更為顯著，約減少 14.5%，路網整體紓解績效約 2.7%。

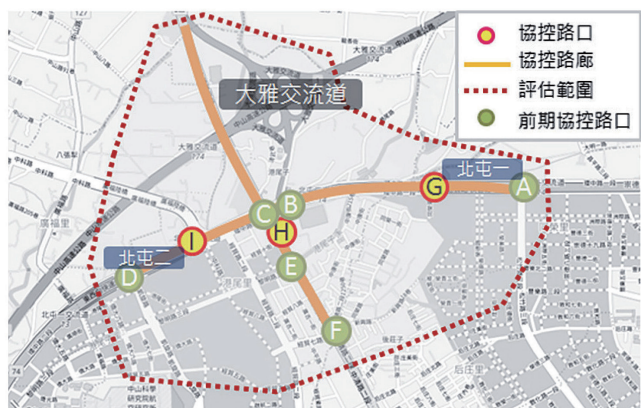


圖 23 大雅交流道周圍動態控制路口分布圖

表 4 大雅交流道事件事後績效分析表

分析項目	統計數值	差異比例 %
107.01 前總平均旅行時間 (秒)	408	- 40.9%
107.12 後總平均旅行時間 (秒)	241	
107.01 前路網流量 (pcu/日)	5,9931	+ 30.3%
107.12 線後路網流量 (pcu/日)	85,977	
107.01 前路網平均速率 (kph)	16.1	+ 41.0%
107.12 後路網平均速率 (kph)	22.7	

台中與南屯交流道

台中交流道周圍區域自 108 年 5 月開始執行 7 處動態路口控制，其中 5 處路口為台灣大道和惠中路、



圖 24 臺中與南屯交流道周圍動態控制路口分布圖

表 5 臺中交流道事件事後績效分析表

分析項目	統計數值	差異比例 %
事前平均旅行時間 (秒)	204	- 7.0%
事後平均旅行時間 (秒)	190	
事前路網流量 (pcu/日)	18,503	+ 1.0%
事後路網流量 (pcu/日)	18,685	
事前平均停等延滯 (秒)	49.3	- 14.5%
事後平均停等延滯 (秒)	42.2	

南屯交流道周圍區域自 108 年 5 月開始執行 4 處動態路口控制，均在主要市區道路五權西路上建置，包括益豐路、龍富路、環中路、南屯交流道。動態控制系統的執行成果如表 6 所示，可知旅行時間減少的幅度約 4.5%，整體路網紓解效率提升 6.5%。

表 6 南屯交流道事前事後績效分析表

分析項目	統計數值	差異比例 %
事前平均旅行時間 (秒)	207	- 4.5%
事後平均旅行時間 (秒)	198	
事前路網流量 (pcu/ 日)	9,818	+ 6.5%
事後路網流量 (pcu/ 日)	10,460	
事前平均停等延滯 (秒)	32.7	+ 0.0%
事後平均停等延滯 (秒)	32.8	

比較三個交流道的整體路網績效，不難發現，台中與南屯交流道的旅行時間績效相對於大雅較低，究其原因有二。首先，大雅交流道原本的交通問題和道路幾何設計有很大的關聯，因此必須要透過交通工程的改善以大幅解決道路容量不足和車流動線複雜的交織問題；其次，因為交通工程的改善效果，使得大雅交流道全日的交通績效均能得到顯著的提升，但台中交流道未實施交通工程改善，動態號誌控制系統的效益比較能在交通壅塞的尖峰時間發揮效果，但到了離峰時段其效果會隨之降低。

圖 25 是臺灣大道平日的旅行時間績效統計分析結果，藍色線條是系統上線前調查之旅行時間，橘色線條是系統上線後第一次調查之旅行時間，紅色虛線是系統

上線經調整校估後調查之旅行時間，系統上線後的績效較能反應於上午 7 時至下午 8 時之間，每小時旅行時間減少幅度最多可達 21%，且晨昏峰時段也有明顯改善。

從關鍵路徑的分析也得到類似結果，且晨昏峰的效果更加明顯，如圖 26 至圖 28。圖 26 可知，臺灣大道出城西向在晨峰小時的改善特別明顯，約 26% ~ 39%；圖 27 可知，臺灣大道進城東向昏峰小時的改善特別明顯，約 13% ~ 29%；圖 28 可知，五權西路出城西向晨昏峰小時的改善特別明顯，約 13% ~ 18%。

路口停等延滯績效分析

107 年度系統上線後，對動態控制路口做路口停等延滯的結果顯示，系統確實能顯著提升路口的車流紓解效率，路口停等延滯減少幅度介於 41% ~ 18%，且多達 10 路口的服務水準因此改善 1 個等級。其中，系統上線前服務水準極差的關鍵瓶頸路口如環中路 / 大雅交流道聯絡道、臺灣大道 / 河南路、臺灣大道 / 黎明路、臺灣大道 / 惠中路、環中路 / 朝馬路的路口停等延滯減少幅度特別明顯，詳表 7。

替代道路導引效果分析

本系統導入後，交通管理策略除了動態號誌控制外，還有透過巨觀交通需求模型推估之路徑旅行時間發布之替代路徑導引資訊，配合動態控制的整合型策略。其中，在大雅交流道區域的替代路徑，對用路人而言算

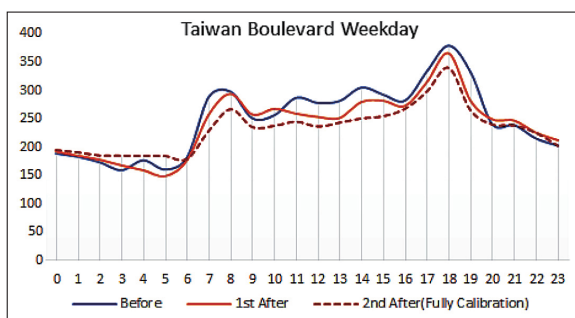


圖 25 臺灣大道路廊旅行時間績效比較圖 (平日)

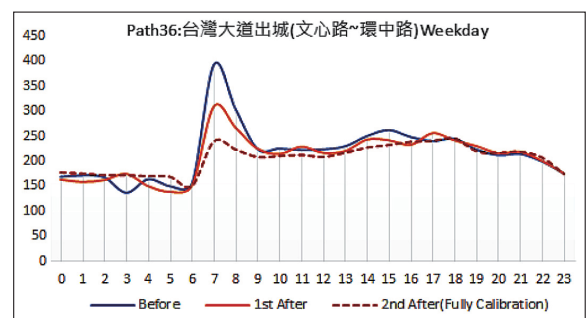


圖 26 臺灣大道出城方向旅行時間績效比較圖

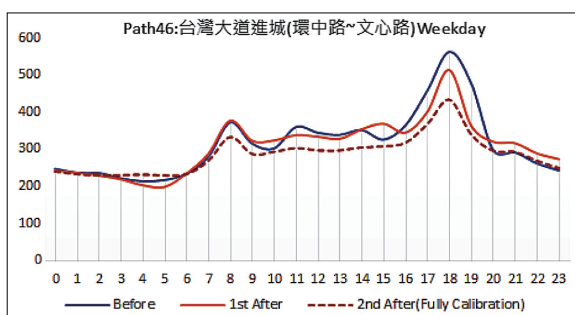


圖 27 臺灣大道進城方向旅行時間績效比較圖

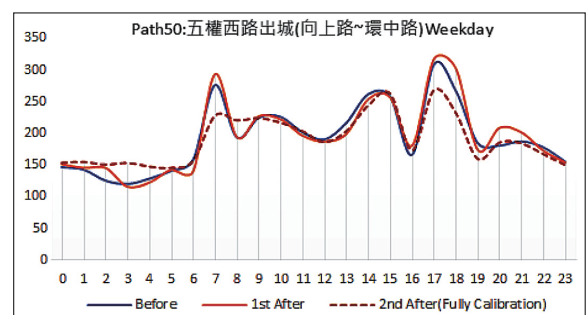


圖 28 五權西路出城方向旅行時間績效比較圖

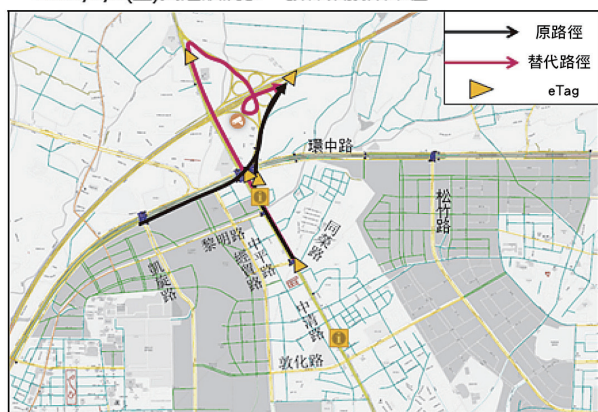
表 7 路口停等延滯與服務水準績效表

路口名稱	路口停等延滯 (秒/車)		服務水準	
	事前	事後	事前	事後
環中路 / 大雅交流道聯絡道	82.1	60.3 (-27%)	F	E
環中路 / 中清路	48.2	37.4 (-22%)	D	C
環中路 / 同榮東路	7.7	7.0 (-9%)	A	A
環中路 / 中科路	21.2	23.7 (+12%)	B	B
中清路 / 大雅交流道聯絡道	20.9	24.6 (+18%)	B	B
臺灣大道 / 惠中路	61.8	49.9 (-19.3%)	E	D
臺灣大道 / 惠來路	49.9	34.0 (-32%)	D	C
臺灣大道 / 河南路	78.6	50.0 (-36%)	E	D
臺灣大道 / 朝富路	48.3	32.2 (-33%)	D	C
臺灣大道 / 黎明路	95.5	71.5 (-25%)	F	E
環中路 / 朝馬路	86.9	71.3 (-18%)	F	E
環中路 / 市政路	31.0	28.9 (-7%)	C	B
五權西路 / 益豐路	13.6	12.7 (-6%)	A	A
五權西路 / 龍富路	16.0	22.9 (+0%)	B	B
五權西路 / 環中路	41.0	43.0 (+5%)	C	C
五權西路 / 南屯交流道	59.1	35.1 (-41%)	D	C

是有吸引力，故本計畫執行期間，也測試替代路徑導引資訊的發布效果。

替代路徑如圖 29 所示，由於從市區方向欲北上國 1 的車流容易受到塞車影響，故導引用路人過路口直行從交流道的另一邊上國道 1 號，行駛距離差距約 1.9 公里。分析結果如表 8，107 年 2 月 7 日起開始發布替代路徑導引資訊，發布前與發布後的替代路徑偵測流量有明顯增加的結果，統計發布前後平均每日路徑通過量各為 5,186 pcu 和 5,548 pcu，成長幅度 7%。其中，2 月 9 日當天狀況頻頻，上午 9 至 12 時因國道 1 號施工發布匝道儀控，系統頻繁發布替代路徑導引，該日這三個小時的通過流量 1,330 pcu，遠高於發布前平日該時段的 1,038 pcu，成長幅度達 28%。同時，因發布替代路徑導引，與替代路徑關聯密切的中清路往北方向的時相，系統也自動給予較長的綠燈時間，讓車流能夠順利通過。

- 2018/2/7 開始發佈改道訊息
- 2018/2/9(五)交通狀況多，發佈頻繁效果佳



發佈前：2017/12/15~2018/2/6

發佈後：2018/12/7,8,9,12,13

假日因變異性大，效果須再持續蒐集數據觀察

圖 29 大雅交流道區域主要替代路徑圖

系統維運階段績效監控

本系統於計畫完成後，亦持續透過車輛偵測器 VD 與 eTag 設備蒐集資料，24 小時不間斷維持本系統之動態控制運作，並且持續對關鍵路徑旅行時間、平均速率與交通量進行績效監控。維運期間並未接到民眾反應績效不好的情況，並且以 109 年 5 月的資料顯示，控制範圍的績效指標保持優於系統建置前。以大雅交流道周邊區域的關鍵路徑「環中路右轉中清路（松竹路—中清路大雅端）」為例，107 年 11 月與 109 年 5 月 4 日至 17 日的平日比較，旅行時間於大部份時間皆有所下降，於上午 8 時最多可減少 2 分 22 秒，旅行時間減少約 23%，如圖 30；假日的部分也有保持績效，以大雅交流道另一關鍵路徑「中清路右轉往大雅交流道」為例，旅行時間也於大部分時間皆有所下降，上午 10 時最多減少 2 分鐘，旅行時間減少約 52%，如圖 31。

表 8 替代路徑導引效果分析

大雅入口流量	發佈前平日平均	發佈後平日平均	2018/2/9(五)
0-1	58	66	92
1-2	55	57	73
2-3	50	73	101
3-4	33	54	45
4-5	43	49	31
5-6	71	71	69
6-7	146	143	130
7-8	381	377	386
8-9	352	336	355
9-10	379	424	476(高速公路施工)
10-11	361	349	490(高速公路施工)
11-12	298	335	373(管線多阻塞)
12-13	215	258	367
13-14	291	307	364
14-15	323	358	350
15-16	300	340	358
16-17	284	285	351
17-18	359	374	334
18-19	336	351	411(北上匝道儀控)
19-20	265	285	318
20-21	198	211	222
21-22	161	195	196
22-23	131	146	159
23-24	94	105	120
總計	5186	5548	6167

台中交流道周邊區域以關鍵路徑「臺灣大道(朝富路至台中交流道)」為例，108 年 4 月與 109 年 5 月的評假日比較結果，旅行時間在各時段皆有所下降，平日最多減少 4 分 55 秒，假日最多減少 3 分 31 秒，如圖 32 所示。

南屯交流道周圍區域以關鍵路徑「五權西路(向上路至環中路)」為例，平日除上午 7 至 9 時旅行時間增加約 1 分鐘外，其他時段旅行時間有所下降，最多減少 43 秒；假日下午 12 至 16 時旅行時間增加 10 至 50 秒外，其他時段旅行時間多有所下降，最多減少 1 分 14 秒，如圖 33 所示。

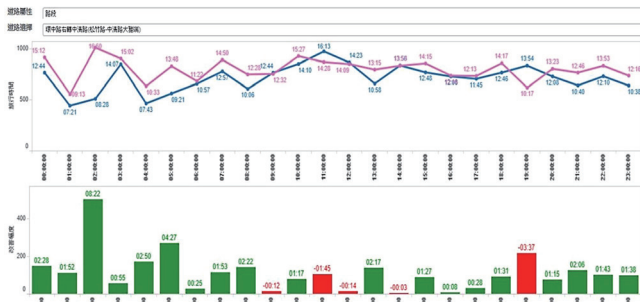


圖 30 環中路往左西轉大雅交流道 109 年 5 月績效

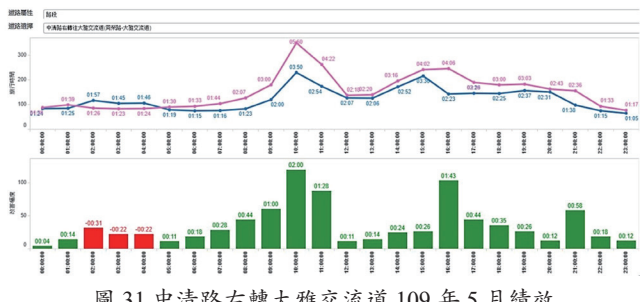


圖 31 中清路右轉大雅交流道 109 年 5 月績效

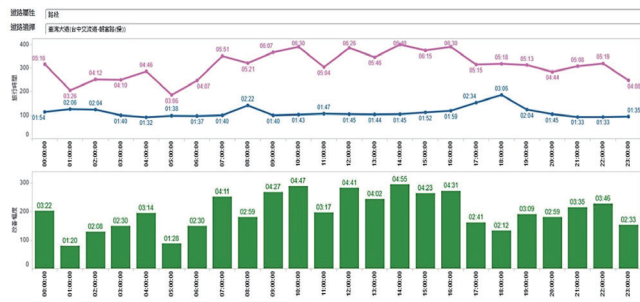


圖 32 臺灣大道(朝富路北上台中交流道) 109 年 5 月績效 (上圖平日, 下圖假日)

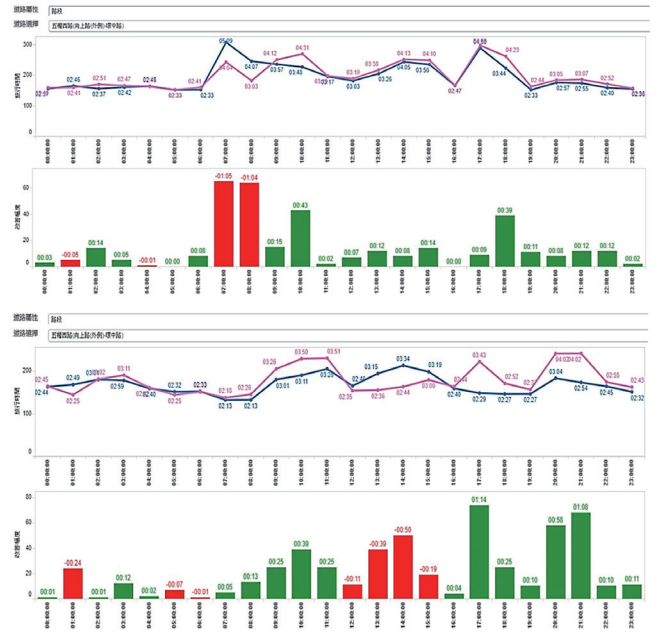


圖 33 五權西路(向上路至環中路) 109 年 5 月績效(上圖平日, 下圖假日)



圖 34 CMS 發布路徑旅行時間資訊

道路資訊發布的部分，透過系統對整體路網的分析結果，藉由 API 將發佈資訊傳第道 CMS 上顯示，例如：旅行時間資訊、替代路徑導引、或者其他 KPI 相關資訊... 等，正常情況約在 1 分鐘之內可完成。

結論

本計畫導入之系統乃德國 PTV GROUP 公司開發之智慧交通管理與控制系統，系統之架構與邏輯確實與國內的交通管理和控制方法有著相當大的差異，本計畫執行過程中，仰賴臺中市政府與計畫執行團隊積極的研究該系統，包括系統整合、動態控制測試、系統邏輯、控制策略... 等項目均深度鑽研，累積的相關經驗，也值得作為日後國內不論是中央或地方政府導入國外系統之借鑑參考。以下列出本計畫執行之重點結論：

動態控制路口策略對區域交通改善有成效

本計畫系統在大雅交流道、臺中交流道、南屯交流道的實施結果，不論是旅行時間和路口停等延滯，均使區域路網的道路績效獲得改善，有效紓解路網的壅塞車流，特別是交通較壅塞的晨峰與昏峰效果較離峰顯著。代表以模型為基礎的動態控制路口模式，在臺灣的道路環境是可以應用的。

動態號誌控制的機車換算小客車當量之調整

BALANCE 的控制結果為本計畫系統最終落實到區域的決策結果，小客車當量的轉換數值確實可能造成動態控制決定的秒數增減差異。謹慎起見，本計畫另外做交通調查，且以合適於 BALANCE 系統的方法執行，每 10 秒頻率觀察通過路口停止線的汽機車數量之關係，結果發現，最外側車道的當量較低，約等於 0.17 pcu，其他車道約等於 0.27 pcu，此結果均低於台灣公路容量手冊之路口直行 0.30 ~ 0.42 pcu，有效減少系統對整體車流量可能造成的高估。此外，分析結果也發現，汽車與機車的紓解關係可當成一次式的線性關係。

以模型為基礎的動態號誌控制方案，調校工作對系統的績效影響顯著

由於本計畫導入之系統是以交通運輸模型為基礎發展，因此，系統從最初的模型建置到上線測試期間的系統調校，均對系統最終的績效影響深遠。因為，系統最後的產出，幾乎都會與交通模型建置的參數有關聯，特別是涉及到路網的部分，包括路網績效、短期交通預測、替代路徑導引、道路事件預警。例如：若某路段的容量設定偏高，則可能導致壅塞時無法在系統上看到效果，或者發生事件時要做預測，導致預測結果失準。以本計畫 107 年度為例，在系統上線後的調查結果，對比再次調校後的調查結果進行調整，後者的績效有顯著的提升，詳圖 26 至圖 28。

路側設備提供的即時交通資訊對系統運作的穩定度至為關鍵

智慧交通管理系統需透過路側設備提供的即時交通資訊，做為即時動態號誌控制或替代路徑導引決策判斷的資料來源，本計畫導入之系統以模型為基礎發展的特色，能夠以模型推估分析的數據預測路網狀態，但若路側設備狀態不穩定，即代表模型對於即時交通情況的掌握度降低，自然也會影響系統模型的推估與預測能力。因此，路側設備的日常維護以維持穩定的資料來源予系統，對於系統的穩定性非常重要。

驗證交通工程與交通管理手段並行對於解決交通問題之重要性

本計畫執行過程中，臺中市政府展開一系列的交通改善策略，包括交通工程、交通管理、以及導入本系統之自動化交通控制。多管道方法對症下藥並行的方式，在最棘手的大雅交流道，自 106 年至今兩年多的努力，大雅交流道周圍的交通壅塞問題已確實獲得大幅度的改善。此經驗驗證解決交通問題須從多方面思考，僅使用單一方法的效果未必能達到目的。本計畫也期許後續能透過持續的資料蒐集，找出更多改善三處交流道周圍交通情況的方法。

參考文獻

1. Bellei, G., Gentile, G., Papola, N. (2005), A within-day dynamic traffic assignment model for urban road networks. *Transportation Research B* 39, S. 1-29.
2. FGSV (Road Traffic Research Association in Germany, 2012), Instructions on traffic forecasts in traffic-related applications, FGSV No. 382/1 (Information paper W1), FGSV publisher, Cologne, Germany.
3. Gentile, G., Meschini, L., Papola, N. (2005), macroscopic arc performance models with capacity constraints for within-day dynamic traffic assignment, *Transportation Research B* 39, 319-338, ISSN: 0191-2615, Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.
4. Gentile, G., Meschini, L., Papola, N. (2007), Spillback congestion in dynamic traffic assignment: a macroscopic flow model with time-varying bottlenecks, *Transportation Research B* 41, 1114-1138, ISSN: 0191-2615, Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.
5. Gentile, G. (2008), The General Link Transmission Model for dynamic network loading and a comparison with the DUE algorithm, in *Proceedings of the Second International Symposium on Dynamic Traffic Assignment – DTA 2008*, Leuven, Belgium.
6. Meschini L., Gentile, G. (2010). Real-time traffic monitoring and forecast through OPTIMA – Optimal Path Travel Information for Mobility Actions, in *Proceedings of Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems, International Conference Rome 2009*, ed.s G. Fusco, Aracne, 113-121, ISBN 978-88-548-3025-7 – (MTITS2009), Rome, Italy.
7. Yi-Chuan Wang., Hui-Sheng Feng. (2018), Implementing Coordinated Real-time Regional Traffic Control System to Solve Traffic Congestion in Taichung City, *ITS AP Forum*, Fukuoka, Japan.
8. Chao-Fu Yeh, Hui-Sheng Feng, Ta-Chun Lin, Yung-Chu Yeh, Hsiao-Chien Chiang (2019), Coordinated Ramp Metering and Urban Road Dynamic Traffic Signal Control with Mixed Traffic conditions, *ITS World Congress*, Singapore, 2019.
9. PTV OPTIMA –TRE User Manual, 2017
10. PTV BALANCE User Manual, 2017
11. 臺中市政府交通局，國一暨台 74 匝道及平面聯絡道號誌協控計畫，2017 ~ 2018。
12. 臺中市政府交通局，國一暨台 74 匝道及平面聯絡道號誌協控計畫（後續擴充），2018 ~ 2019。 