

103-33-2271
MOTC-IOT-102-EBB005

鐵路列車自動化排點系統建置之研究



交通部運輸研究所

中華民國 103 年 3 月

103-33-2271
MOTC-IOT-102-EBB005

鐵路列車自動化排點系統建置之研究

著者：陳一昌、許書耕、許修豪、陳春益、林東盈、
李威勳、李宇欣

交通部運輸研究所

中華民國 103 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目資料

鐵路列車自動化排點系統建置之研究 / 陳一昌等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民 103.03

面 ; 公分
ISBN 978-986-04-0979-6(平裝)

1. 鐵路管理 2. 運輸系統

557

103006759

鐵路列車自動化排點系統建置之研究

著者：陳一昌、許書耕、許修豪、陳春益、林東盈、李威勳、李宇欣

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：www.iot.gov.tw (中文版>圖書服務>本所出版品)

電話：(02)23496823

出版年月：中華民國 103 年 3 月

印刷者：京峯數位服務有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 85 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：100 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號・電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

GPN：1010300597 ISBN：978-986-04-0979-6 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究/共同研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：鐵路列車自動化排點系統建置之研究			
國際標準書號（或叢刊號） 978-986-04-0979-6 (平裝)	政府出版品統一編號 1010300597	運輸研究所出版品編號 103-33-2271	計畫編號 102-EBB005
本所主辦單：運輸工程組 主管：陳一昌 計畫主持人：陳一昌 研究人員：許書耕、許修豪 聯絡電話：02-23496823 傳真號碼：02-25450427	合作研究單位：財團法人成大研究發展基金會 計畫主持人：李宇欣 研究人員：陳春益、林東盈、李威勳、 地址：701 臺南市大學路 1 號 聯絡電話：(06)2757575		研究期間 自 102 年 2 月 至 102 年 12 月
關鍵詞：鐵路班表、列車自動化排點、最佳化、軟體系統、決策輔助			
摘要： <p>本計畫實作一套鐵路列車自動排點系統雛型軟體，結合多項核心技術以及鐵路決策輔助支援平臺(Railway Decision Support Platform, RDSP)，提供鐵路列車自動排點所需功能。系統功能包括：1.服務計畫模組：讀取運輸需求以及車次樣板以產生服務計畫；2.班表求解模組：臨時列車模組，在給定之背景班表中自動插入臨時列車；3.運行圖顯示模組：由給定班表產生運行圖；4.衝突檢查模組：在給定班表中檢查衝突；5.衝突排除模組：自動排除班表中衝突；6.班表管理模組。此系統除能作為臺鐵局排點作業的自動輔助系統外，並能用以對鐵路公共投資方案作於營運面之深度評估。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
103 年 3 月	137	100	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Implementing an Automated Railway Timetabling System			
ISBN(OR ISSN) 978-986-04-0979-6 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010300597	IOT SERIAL NUMBER 103-33-2271	PROJECT NUMBER 102-EBB005
DIVISION: Engineering Division DIVISION DIRECTOR: I-Chang Chen PRINCIPAL INVESTIGATOR: I-Chang Chen PROJECT STAFF: Shu-Keng Hsu , Hsiu-Hao Hsu PHONE: 886-2-23496823 FAX: 886-2-25450427			PROJECT PERIOD FROM February 2013 TO December 2013
RESEARCH AGENCY: NCKU Research & Development Foundation PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yusin Lee PROJECT STAFF: Chuen-Yih Chen, Dung-Ying Lin, Wei-Hsun Lee ADDRESS: 1 University Road, Tainan, Taiwan 701 PHONE: 886-6-2757575			
KEY WORDS: railway timetable, Automated Railway Timetabling , optimization, software system, decision support			
ABSTRACT: <p>The present study developed and implemented a prototype software for the automated timetabling of trains. By combining numerous core techniques with the Railway Decision Support Platform (RDSP), the resulting system is able to perform a set of functions that facilitate the automation of train timetabling. The six major components of the system include (1) a service planning module that yields service plans by reading transportation demand and train service templates; (2) a timetable solving module that is able to automatically insert additional trains into a given background timetable; (3) a travel map display module which is produced from a given timetable; (4) a conflict checking module that examines a given timetable to identify embedded conflicts; (5) a conflict resolving module that automatically resolves conflicts; and (6) a timetable manager module. This system not only serves as a powerful support system for the Taiwan Railways Administration, but can also be used to evaluate railway public investment projects more comprehensively than before.</p>			
DATE OF PUBLICATION March 2014	NUMBER OF PAGES 137	PRICE NT 100	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

第一章 緒論	1
1.1 研究緣起	1
1.2 研究目的	1
1.3 研究重要性	2
1.4 研究流程與步驟	2
1.5 主要研究內容	3
第二章 文獻與發展歷程回顧	5
2.1 臺鐵局之自動排點發展歷程	5
2.2 本所之自動排點發展歷程	5
2.3 列車排點文獻回顧	7
第三章 自動排點核心技術概述	9
3.1 鐵路系統服務計畫自動化與最佳化	9
3.2 對號列車之配位	10
3.3 鐵路系統服務計畫與配位數學模式	12
3.4 運轉資源需求評估	16
3.5 廣義列車排點問題	16
3.6 列車排點概述	18
3.7 自動排點數學模式	19
3.8 班表衝突檢查與排除	23
3.9 臨時列車之排點	24
3.10 資料庫	27
3.11 軟體技術	28
第四章 軟體設計	29
4.1 自動化排點系統架構	29

4.2 自動化排點系統使用案例	30
4.3 自動化排點系統軟體模組	31
4.4 自動排點軟體模組時序圖	32
4.5 資料庫架構	34
第五章 自動化排點系統功能	35
5.1 操作介面	35
5.2 服務計畫功能	35
5.3 班表求解功能	36
5.4 臨時列車功能	36
5.5 衝突檢查功能	38
5.6 衝突排除功能	39
5.7 運行圖顯示功能	39
5.8 班表管理功能	40
5.9 績效驗證	41
第六章 自動化排點系統之實務應用	45
6.1 排點輔助	45
6.2 鐵路投資方案評估	46
第七章 結論與建議	49
7.1 結論	49
7.2 建議	49
參考文獻	
附錄 A 期中審查意見處理情形	
附錄 B 期末審查意見處理情形	
附錄 C 軟體使用手冊	
附錄 D 期末簡報	

圖表目錄

圖 2.1 本所之自動排點發展歷程示意圖	7
圖 3.1 第一型衝突示意圖	24
圖 3.2 臨時列車演算法示意圖	26
圖 3.3 最短路徑模型	27
圖 4.1 自動化排點系統架構設計示意圖	30
圖 4.2 自動化排點系統使用案例圖	31
圖 4.3 自動化排點系統軟體模組	32
圖 4.4 自動化排點系統模組時序圖	33
圖 4.5 RDSP 資料庫平臺架構圖	34
圖 5.1 102 年 4 月 2 日班表西幹線運行圖	42
圖 5.2 102 年 4 月 2 日班表東幹線運行圖	43
表 3.1 廣義排點作業工作內容	17

第一章 緒論

1.1 研究緣起

本計畫係應「交通部中程施政計畫（99 至 102 年度）」中，貳、施政重點/三、未來 4 年施政重點/（一）多元而便捷的軌道運輸及「交通部 99 年度施政目標與重點」中，「壹、年度施政目標/一、提升路政運輸服務水準：（二）軌道運輸以已通車之高速鐵路及傳統鐵路運輸路網為架構，從「資源整合」及「充份發揮運轉效能」的觀點，將高速鐵路做為聯繫臺灣南北旅客運輸服務之主軸，並透過建設北中南都會區捷運網、鐵路立體化與捷運化、花東鐵路電氣化及發展輕軌系統以確實提供優質軌道運輸系統服務...」等，為提升鐵路系統營運效率辦理之先導研究。

列車班表上承服務計畫，下支配各類軌道資源(人、車輛、軌道)，故列車排點為車輛運用、乘務人員運用、運轉整理及列車調度計畫的基礎，亦為營運規劃作業最核心的工作之一。本所自 93 開始進行一系列軌道容量分析之相關研究，已針對部分臺鐵現況資料進行蒐集，在列車排點部分亦於 95 年完成「臺鐵車輛排程最適化之研究」[1]透過列車排點基本觀念的建立、文獻的回顧及臺鐵現行列車排點作業現況的瞭解，釐清臺鐵列車排點的問題，再考量現有鐵路設施與路線營運之限制條件，已建立初步之最適化排點模式。100 年進行之「鐵路列車排程參數蒐整建置及架構分析之研究」[2]及「臺鐵包車營運需求下列車班表之研究」[3]，前者蒐整臺鐵列車排點所需之相關參數並以資料庫方式建置，用以提供產官學研各界於後續發展求解演算法及自動排點模式之用，後者針對臺鐵包車營運型態探討列車班表調整模式。101 年辦理之「鐵路列車排程模式建立及運行資料分析校估之研究」[4]，除持續發展列車排點模式外，並分析鐵路營運之中央行車控制 (Centralized Traffic Control, CTC)及列車自動防護系統(Automatic Train Protection, ATP)記錄資料，嘗試作為列車排點參數校估及班表績效評估之用。本年度擬接續著手列車排點系統建置工作。

1.2 研究目的

本計畫主要目的在建置鐵路列車自動化排點系統雛型。系統雛型須具備自動排點功能，以及為執行自動排點所需之其他附屬功能。所有程式需具備基本人機介面，並且具有全尺度之核心能力。本計畫並整合多年發展之多項核心技術，實作成為完全共容、以相同之資料平臺進行資訊交換之程式群組。

1.3 研究重要性

本計畫為臺鐵系統列車排點自動化推動過程中重要之一環。臺鐵局致力於列車排點自動化之努力已近二十年。由於系統之複雜性與獨特性，以及相關核心技術、軟體技術、硬體技術之發展耗時，至今仍未能達到排點高度自動化之境界。本計畫為臺鐵開發一能全自動求解列車班表之核心技術，除能以本技術發展實務使用之決策輔助軟體，對排點業務具有直接助益外，並能在該決策輔助軟體發展與應用過程中累積經驗，對未來完整營運管理系統發展具有重大影響。此外，自動化排點模式並可作為鐵路投資政策評估之重要輔助工具。

1.4 研究流程與步驟

本研究之進行步驟列舉如下。

1.實地訪談

本研究採用實地訪談以及電話訪談兩者並用，深入瞭解臺鐵局排點相關人員之作業習慣與需求。同時亦實地瞭解臺鐵局現有排點相關軟體，以利未來之介接並且減少使用者之適應困難。

2.文獻資料蒐集與整理

對過去文獻進行有系統之蒐集、回顧、與整理。

3.系統分析

依據臺鐵局實地訪談所了解的臺鐵局對排點系統的需求，加上文獻整理的相關資料，分析符合臺鐵局上線使用的排點系統相關功能、介面與使用環境等需求，定義出鐵路列車自動化排點系統雛型與相關的功能需求、人機介面需求、環境與性能需求等，以期能符合臺鐵目前排點實務作業流程，並發展適合之人機操作介面，包括臨時列車排點與全線班表排點等。

4.系統設計

本計畫將採取雲端化技術，服務導向架構(Service Oriented Architecture , SOA)來設計本排點系統軟體，各子系統依據其定義的需求規格。同時並採用物件導向分析設計(OOAD)方法，定義各個模組的介面。並且依照統一建模語言(UML)的方法設計各個模組的使用案例圖(use case diagram)、軟體模組時序圖(sequence diagram)、與類別圖(class diagram)，其他 UML 定義的圖表則視需要增減。

採用 SOA 架構有很多優點。由於各程式模組相互獨立，因此其發展建置之順序具有甚高之自由度，適合未來臺鐵局視需求與可用資源持續發展之。各模組亦可視需求予以抽換而不影響其他模組，亦有利於長遠之發展。此外，各模組可以使用不同之程式語言、在不同平臺上，在共同的標準下發展，使得未來臺鐵局接續發展時可以開放給多數不同單位共同參與，有利加速發展過程，並且避免受限於單一技術。SOA 架構的缺點是分散式的計算當中，通訊協定與資料交換的過程會增加一些系統的負荷，但本系統屬於計算需求導向的系統，這些資料交換的負荷相較之下相對非常輕微，對系統效能幾乎無影響。

5.軟體實作

本系統之核心演算法開發與實作係採用 C++物件導向語言實作，前端排點系統 APP 的部份，則從 C++ / C# / VB.NET 幾種語言中擇一實作。由於本系統使用 SOA 架構，因此各軟體可視需求採用各自最適當之程式語言實作，並無統一之必要。

6.系統測試

各子系統完成後，將先分別進行測試。各子系統完成測試後，再將各子系統整合並進行整合測試，以求最終系統設計符合系統需求定義。

7.文件編撰

本計畫產生之文件包括期中報告書、期末報告書(含軟體使用手冊)。

8.教育訓練

本計畫將辦理系統之教育訓練。

1.5 主要研究內容

本研究具體內容在建置可實務應用之臺鐵列車自動化排點系統雛型。其主要功能為列車排點，並且包括針對班表內之列車衝突自動偵測及求解排除功能。此系統之建立，將可有效整合過去相關研究成果，確實驗證自動排點技術在實務上之可行性。同時又可以此為基礎，具體勾勒我國鐵路領域未來亟待發展，且有能力發展之方向與項目。

第二章 文獻與發展歷程回顧

鐵路列車排點之自動化為一個遠大而具有相當難度的目標。此一目標之達成，可以預期將帶來相當重要之效益，但其相關技術之發展亦具有高度挑戰性。在鐵路系統之營運中，排點作業位居核心地位。班表的品質並且影響整個系統的運轉效率。傳統上臺鐵之排點作業大都以人工為之。由於班表之重要性以及排點工作自動化之重大效益，過去二十多年中各界多有努力，使得自動排點相關技術及實現之環境有長足之發展。本章將分別回顧臺鐵局與本所在此方面之發展歷程。

2.1 臺鐵局之自動排點發展歷程

在臺鐵局方面，該局早於二十多年前即著手於排點工作之電腦化與自動化。回顧其發展歷程可分為兩個階段，分述如下。

- 1.電腦化發展階段：**臺鐵局早期的努力使得排點方式由紙上作業轉而電腦化。最早於民國 81 年 7 月完成列車排點電腦化系統，由電腦提供基本查詢及輸出功能。復於民國 91 年 8 月完成列車排點系統更新案，以 Windows 為主要作業系統。後於民國 92 年底完成列車排點系統擴充案，再次提升其功能。至此，臺鐵局排點工作之基本資料查詢、報表輸出、運行圖輸出等功能已見規模，並對排點人員提供實質上之幫助。
- 2.自動化發展階段：**於電腦化之後，臺鐵局朝向難度更高的排點自動化、決策輔助功能發展。民國 97 年 2 月之電腦排點系統短期改善案，除了增加更多的資料查詢、跨平臺拋轉等功能外，並納入衝突偵測之功能，為朝向決策輔助功能之第一步。後續於民國 99 年 11 月完成之電腦排點系統功能提升案進一步強化了使用者介面、班表管理、時點管理等功能。而民國 101 年啟動，甫完成之電腦排點系統功能擴充案又強化了班表編輯、管理、出版等功能。這些多年累積的成果，對排點工作人員之工作形成很大之助益，也在臺鐵局建立了電腦化的工作環境。

2.2 本所之自動排點發展歷程

在臺鐵局發展其自動排點技術之同時，本所多年來亦執行多項相關研究，逐步建立自動排點核心技術。回顧整個研究發展歷程，依其主題方向大致上可分為三個階段，示意於圖 2.1，並分別說明如下。

- 1.核心技術發展階段：**欲使電腦具有自動排點之能力，首先必須有適當之演算法以供其求解核心使用。在此方面國內外雖然多有相關研究，但具有實用能力者甚少。因此本所於本系列研究展開初期，先致力於基本核心技術之發展。本所在此一階段完成三項研究：

- (1)「臺鐵車輛排程最適化之研究」(民國 95 年)：本項專題研究嘗試尋求發展相

關數學模式之方向。該研究在建立混合整數規劃模式後，以分支定限法以及基因法求解。雖然其成果僅能成功求解臺北至新竹路段單一方向少數列次之排點問題，與臺鐵全線自動排點之長遠目標尚有一段距離，但已顯示具實用能力自動排點技術之發展並非遙不可及。

- (2)「臺鐵包車營運需求下列車班表之研究」(民國 100 年)：本研究成功進一步將相關模式與軟體技術推進到實務應用範圍之內。其主要目標在構建一個具實務使用能力之數學模式，以求解在一份給定的臺鐵營運班表中，增加排入臨時列車班次之列車排班問題，以及分析列車排點方案之穩定度。本計畫之另一目標則為蒐集整理分析臺鐵現行加開列車申請作業流程（含列車排點、機班、車班編組）並提出改善建議。此一設計已顯示往參數蒐整發展之研究主題佈局。
- (3)「鐵路列車排程模式建立及運行資料分析校估之研究」(民國 101 年)：本項研究再強化鐵路列車自動排點核心技術，並予以實作成為具有求解臺鐵全線班表能力之軟體。此外並以及分析 ATP 與 CTC 行車紀錄資料以校估基準運轉時分，最小時隔等排點參數，為進入下一階段之研發而奠基。

2.實務參數蒐整階段：在自動排點技術發展之第二階段，本所致力於實務資料與參數之蒐整與分析。本階段共進行了三項研究，說明如下。

- (1)「鐵路列車排程參數蒐整建置及架構分析之研究」(民國 100 年)：本研究對臺鐵系統排點所需之參數及資訊作基本釐清，並將複雜的資訊歸納成為較易建立資料庫之架構。該研究亦提出了排點資訊資料庫之初步架構。
- (2)「鐵路系統設施基本資料庫建置之研究」(民國 100 年)：本研究以長遠未來發展設施維修管理系統為目標，研擬鐵路設施基礎資料庫之架構，並實地收集部份資料納入資料庫中。
- (3)「鐵路系統設施基本資料庫建置之擴充」(民國 101 年)：本研究承續先前研究之成果，設計並實作鐵路決策輔助支援平臺(Railway Decision Support Platform, RDSP)以橋接臺鐵局目前分散建置之多數孤島資料庫。而該系統之最重要功能則為作為未來自動排點系統，乃至於更強大而全面性的營運管理系統之最重要基礎。

3.實作技術發展階段：經歷長期而系統化之研究後，本計畫嘗試進入實作技術發展階段，主要目標在建置可實務應用之臺鐵列車自動化排點系統雛型。



圖 2.1 本所之自動排點發展歷程示意圖

2.3 列車排點文獻回顧

本計畫之主要目的在建置鐵路列車自動排點系統雛型。主要範圍為由一給定之初始班表出發，解得無衝突之相對應班表，以及在給定之背景班表內插入臨時列車。此一系統之核心問題需要數學技術以處理之。本節將回顧相關學術文獻以整理目前相關數學技術之發展狀況。

由於問題之高挑戰性以及實用上之重要性，近數十年來國際上對軌道車輛排點技術之研究著墨甚多，各以不同方法為之。整體而言，所考慮因素愈詳細、或愈依賴數學模型，則愈有機會貼近真實狀況，但求解愈困難。在另一方面，考慮因素愈簡化、愈使用啟發式解法，則求解愈易，但與真實需求相去愈遠。而研究成果要具實用價值，則需要接近實際，同時又能夠快速求解，並非易事。文獻中 Nagarajan 與 Ranade^[7] 使用嚴謹的數學模型描述列車機械性能以及可行班表所需滿足的條件。其模型雖然完整，但亦因而極難求解，並無實用之可能。由於列車之機械性能多屬高度非線性，因此其他自動排點相關文獻均未直接納入機械性能之考慮，而改以加減速損失時間、基準運轉時分等代替之以簡化模型。這種思維亦接近於實務之排點方式。

列車排點問題混合了各車次的到開時分等連續量，以及不同車次的股道分配與使用閉塞區間的順序等離散量。而在問題之核心，造成求解障礙之最主要因素為其中離散量之部份，至於連續之部份所涉及之變數關係多為線性，因此求解相對較易。此種分配列車通過或停靠車站時所使用之股道，並求解其順序之問題，其基本性質接近工作排程問題(job-shop scheduling problem)。因此 Liu 與 Kozan^[8] 將

列車視為工廠中之工作項目、將車站內每一股道視為單一機臺、將多股道的車站視為多臺平行機臺，而利用工作排程模式求解軌道列車排點問題。本研究善用已具有豐富成果之工作排程問題，用於更複雜之列車排點問題有其學術貢獻，但其成果與實用尚有一段距離。為數較多的文獻採用啟發式解法以使電腦能夠自動求解列車班表，包括Jütte與Thoneman^[9]使用Branch-and-Price、Jamili等作者^[10]、Ho等作者^[11]、與Shiau^[12]採用粒子群演算法（particle swarm optimization）。其他如基因演算法^[13]、模擬退火法^[14]、分枝定限法（branch-and-bound）^[15, 16]、拉氏鬆弛法^[17, 18]等亦均有學者嘗試。

文獻中尚有Burdett與Kozan^[19]所提出，在既有之背景班表中加入更多車次之啟發式求解方法，其所研究之問題接近本研究之臨時列車班表問題。該方法亦以前述工作排程問題為基礎，再使用作者所整理之搜尋規則，以達到加入車次之目的。此外Cacchiani等作者^[20]亦提出類似問題之數學模型與求解方法。然而該研究成果僅適用於長途貨運列車。該研究所探討之問題僅考慮需要額外列車運送之貨物之起迄點，對中途各站僅考慮其路途而未考慮運輸功能。由於考慮因素之差異，本成果並無法應用於客運列車。

由上述臺鐵局與本所之發展歷程可以發現，交通部不同單位在各自領域內之努力，已奠定了重要的基礎。百年以上的運轉經驗，在臺鐵局累積了為數可觀的複雜資料，而本所則以相關之系列研究予以有系統蒐集、分析、整理，並建立RDSP 資料平臺使之成為自動化系統能夠運用之形式。同時，臺鐵局亦擁有豐富的實務運轉知識與經驗，而本所多年之有系統研究亦將這些知識經驗予以系統化，成功發展數學模式以及求解這些複雜數學模式之演算法。

除了上述技術方面之發展外，臺鐵局二十年以上之電腦化努力，亦在其內部營造了未來電腦化、自動化作業之基礎。在人員方面，目前所有排點工作相關人員均已完全適應電腦化之工作環境，與二十或三十年前不可同日而語。在相關系統方面，臺鐵局亦已建立了不少排點系統上、游之資訊系統。未來所建置之自動排點系統將能自上游系統接收大部份之輸入資訊，而其所產生之成果亦有機會以直接拋轉之方式提供予下游系統進行後續之分析、審核、發佈等程序。而二十年來陸續採購、建置之資訊硬體、備援、及網路設備亦已趨於完整，足以支持未來更進一步自動化作業所需。在外部支援方面，私部門亦有顧問公司、資訊商、設備商等具有提供臺鐵相關服務之經驗，而學術單位亦與臺鐵局及本所建立合作機制。

第三章 自動排點核心技術概述

鐵路系統之排點工作複雜，而又位居鐵路系統運轉之核心。排點工作之自動化與最佳化在實務上具有高度的效益，在學術上亦具有公認的價值與挑戰性。任何一個自動排點系統必備之核心能力為由一份理想班表出發，自動排出無衝突之班表。此項能力本身即已不易，但一個完整的自動排點系統，絕非僅此即可。為了方便實務上之使用者，以及為了使軟體工具成為功能完整之系統，除了排點能力外，軟體尚需提供許多其他的能力。而將諸多軟體功能整合到同一體系下，亦為本計畫建立自動排點系統雛型之重要任務。本章將於以下各節描述各項功能之核心技術。至於由實作立場為出發點以描述功能本身，則留待第四章說明之。

3.1 鐵路系統服務計畫自動化與最佳化

鐵路系統之目的在提供人員與貨物之運輸服務。由於鐵路運輸系統具有高度之計畫性，舉凡所開行之列次、所有列次在各通過或停靠車站之行點、各車次所運用之編組、執行車次之乘務人員等，均需要在事前完成縝密之各種運轉計畫方能達到安全而高效率之目的。在這各種運轉計畫中，服務計畫旨在為鐵路系統安排所提供之列次，以針對運輸需求而提供適時適量適質的鐵路運輸服務。

在鐵路系統營運體系中，服務計畫橋接供給面與需求面，屬較上位之計畫；因此服務計畫之研擬過程中需要考慮供給面與需求面之多種因素。在需求面，服務計畫所考慮者為該鐵路系統所服務之各車站之間，分起迄點、分時、分車種之需求量。就學理而言，運輸需求為社會經濟活動所產生，因此運輸需求之推估與預測應基於社會上經濟活動之預測，利用各種模式推估之。考慮本研究之目的在發展自動排點系統雛型，而運輸需求之推估並非本研究之範圍內。因此固然輸入資料之品質將直接影響輸出資料之品質，但在此發展系統之階段，對軟體系統而言，運輸需求為外部資料。不論該項資料是否來自嚴謹之預測模型與推估、或以過去售票紀錄代之、或其他任何來源，對本軟體之正常運轉均無影響。

一個鐵路系統之服務計畫，其主要計畫內容為鐵路系統每日所擬開行之車次及其停站模式，亦即每一車次之始發站、終點站、與中間所停靠之各車站。為了充份掌握每一車次所能提供之運能，服務計畫內容亦應包括每一車次所擬使用之車型。同時，服務計畫內容亦包括每一車次之始發時間以及其牽引種別，以便據以推算該車次在每一停靠站所能服務之起迄對及提供服務之時間。

臺鐵系統提供多種車種，包括自強號、莒光號、復興號、區間車及其他車種。這些車種可分為城際服務與通勤服務兩大類。前者以自強號與莒光號為主，而後者則以區間車為主。目前臺鐵自強號以 PP 為主力車種，至於晚近上線運轉之太魯閣號與普悠瑪號兩型傾斜式列車，在臺鐵之車種分類系統中均屬於自強號。屬於城際服務之自強號與莒光號車種行程較長，自強號平均每車次之行程約為 330 公里、莒光號平均每車次行程約為 368 公里。若單獨計算太魯閣號，則其行程長度平均為 284 公里。這些車種均為全車對號，亦即乘客於購票時劃位即可在車上享有專屬之座位。反之，若在購票時無法劃位，則在車上即無座位。而傾斜式列車並規定無座位者不得搭乘。在此系統下，配位對車次所提供之服務內容具有決

定性之影響。有關配位，將於後續詳細論述之。

在通勤服務方面，目前臺鐵系統以區間車為主，每日並開行少數區間快車。相較於提供城際服務之自強號與莒光號，區間車之行程較短，平均每車次之行程約為 80.5 公里。目前區間車以運用 EMU500、600、700、以及新引進之 800 型車輛為主。這些車輛具有大容量之優點，每輛車之定員數約為 60 個座位與 120 個立位。因此若以 8 輛車之編組計，每車次可同時容納約一千位旅客。同時亦配備大型車門，可以在短時間內上下多數旅客。

臺鐵系統所有區間車均為全車非對號，且停靠沿途所有車站。以目前運轉狀況觀之，除了桃園=南港路段之上午尖峰時段有容量不足之現象外，在其他所有區域，區間車之車上容量均足以滿足需求。因此就服務計畫而言，於絕大多數區域，區間車之服務計畫以各種行程的運行區間、尖離峰間距、所使用之車型等為主要考慮因素。另外在車上容量不足之桃園=南港路段，則需要同時考慮所提供之運能。

如前所述，服務計畫為較上位之計畫。後續之班表編排、乘務人員派遣計畫、車輛編組運用計畫等，均直接或間接依據服務計畫為之。若在後續計畫之研擬過程中發現需要修正服務計畫，往往牽涉甚廣而耗費大量人力與時間。因此在研擬服務計畫時亦需要考慮各服務計畫方案對可用之乘務人員、車輛編組、路線容量等運轉資源之需求，以降低未來重複修正之可能性。有關運轉資源之評估，將在本章後續小節詳細說明之。

3.2 對號列車之配位

所謂配位，指將對號車次上之座位數量分配予各段旅程之作業。例如配置 576 個座位的推拉式自強號由七堵經山線行駛至高雄時，在開始發售預售車票之前即需要先規劃提供給沿途停靠各站之間的座位數，例如七堵至新竹、七堵至臺中、七堵至高雄、桃園至嘉義、臺中至高雄，以及其他各種組合，均需要規劃可售出之座位數。一般而言，若某列車，含其始發與最末站總共停靠 n 處車站，則能夠服務之起迄組合將有 $n(n-1)/2$ 種。一般自強號行程中大都沿途停靠 12 至 20 站，因此能夠服務之起迄組合大約在 60 至 200 種之間。至於莒光號則沿途停靠站數可達 40 站或更多，其可服務之起迄組合則可達到約 800 種。須要注意的是，配位工作僅限於座位數量之分配，而未及於個別具體座位售票對象之指定。

如前面小節所論述，運輸需求具有分時之特性。由於列車之運行時間常長達數小時以上，因此同一車次對不同起點之需求，所提供之服務時間並不相同。例如上午 7:30 自七堵發車之西幹線逆行自強號可提供上午尖峰時段自七堵往沿線各停靠站之運輸服務。但同一車次停靠新竹站時約為 9:05、停靠彰化站時約為 10:30，因此對新竹或彰化往後續其他停靠站之運輸服務並無法在上午尖峰時段提供。

同一課題亦可由需求之立場剖析之。以上午 10:00:00 至 10:59:59 之一小時中，欲由新竹站前往彰化站之需求為例，臺鐵系統可能在這一小時中提供數趟車次。這些車次可能是由七堵發車，終點站在高雄站的山線自強號，亦有可能是海線莒光號，或甚至是由花蓮發車，行駛至彰化站之跨線太魯閣號。至於少數不停靠新竹站之自強號列次，則雖然行程中行經新竹站，但卻無法提供該需求所期待之服

務。因此以本例而言，由需求之立場，最重要之考慮因素是臺鐵系統中之所有車次，在這一小時中由新竹站往彰化站，各種車種所能提供之總座位數。此即為該分時起迄對所獲得之服務。

綜合上述論述可以發現，配位作業之核心工作在將每一車次列車上可用而數量無彈性之座位，適當分配予該車次可服務之所有起迄需求，使得在車次之整個行程中，在每一站間分配予各種起迄之總量均不超過車上可用座位數，同時又能適當服務所有之需求。

目前臺鐵系統所有城際列車均採全車對號，因此配位至為重要。就對號車而言，雖然開行車次為提供運輸服務之必要手段，然而各車次之配位卻是真正決定系統運輸服務能力之關鍵。因此理想上欲使所提供之運輸能量貼近需求，必須在規劃擬開行車次的同時，納入配位之考量。如前一小節所說明，規劃擬開行車次時需要考慮人員、車輛、路線容量、停站模式等諸多因素；而進行配位時又需要考慮如何將所有車次之所有座位適當分配予所有的分時起迄需求。然而在實務上，同時綜合考慮過多的因素，常超過人力所能負荷之範圍。因此臺鐵局實務上之作業方式係將開行車次之研擬與配位分於不同單位執行之。此種制度固然有分散工作負荷之優點，但卻因為所使用之資訊量過大以及內容複雜而使兩者協調不易。根本之道應是利用電腦強大的運算能力，以有系統的最佳化方法同時進行車次之研擬以及所有車次之配位。相關數學模式將於後續小節詳細說明之。

在實務上，臺鐵之配位方式並非單純就各該車次沿途停靠站之各種起迄組合而配予座位數，而是在行程之最初與最末區段採「共同配位」之方式分配之。所謂共同配位，係指在行程之最初區段，將該區段內所有停靠站視為一個共同的起點，而配予該共同起點至其他停靠站之座位數。在行程之最末區段，亦以類似之方式將其中之所有停靠站視為一共同終點，將行程中各停靠站至最末區段之所有座位共同分配之。例如，假設某西幹線逆行自強號自七堵站發車，以高雄站為終點站。沿途停靠汐止、松山、臺北、板橋、桃園、中壢、新竹、臺中、彰化、嘉義、臺南，含起終點共計 13 站。則依臺鐵實務作法，在起點端以七堵至板橋共 5 站共同配位，在終點端則以臺南與高雄共 2 站共同配位。因此該車次在配位階段即不配七堵至臺北、七堵至板橋、或臺南至高雄之座位。配位時，將七堵至板橋這 5 處車站視為共同起點，配予往桃園、往中壢、往新竹等各行程之座位數，以及往共同終點（臺南及高雄）之座位數。

在鐵路系統，售票可視為配位計畫之執行，兩者具有密切之關係。然而實務上售票時並非一成不變執行配位之成果。例如，在實務上為了提供更多服務予長途旅客，或配合各車站之不同需求量，經常將距離相近車站之間，或旅客量甚低之車站之配位數量設為 0。然而在售票階段，相關人員則可適當調整配位數量，以適應各種實際的購票需求。

3.3 鐵路系統服務計畫與配位數學模式

如前所分析，服務計畫之編排至為複雜；若同時納入配位之考量，更將遠超過人工作業之能力範圍。為達到電腦自動求解服務計畫以及配位之功能，本研究發展了一個混合整數規劃模式作為其求解核心，可以同時求解一組服務計畫中所開行之車次、各車次之始發時間、行程、停站模式、以及車上之配位計畫。所考慮之因素除了分時起迄需求外，並及於路線容量、以及編組行程之對稱性。

模式所使用之符號說明如下。

集合部份：

OD = 所有旅次起迄對所成之集合

A = 所有樣板車次所成之集合

RP_a^0, RP_a^1 = 所有樣板車次 a 在行駛方向 0 與行駛方向 1 之車次所成之集合

R = 所有候選車次所成之集合

T = 所有時段所成之集合

P^r = 候選車次 r 可服務之旅次所成之集合

R_{ij}^t = 可在時段 t 服務 (i,j) 旅次之候選車次所成之集合

RA_{ij}^t = 所有在時段 t 於車站 i 停靠，之後又停靠車站 j 之候選車次所成之集合

RB_i^t = 所有在時段 t 行經車站 i 之候選車次所成之集合

S = 所有車站所成之集合

S^r = 候選車次 r 所停靠之車站所成之集合

SA_j^r = 候選車次 r 在停靠車站 j 之後所停靠之車站所成之集合，含車站 j

SB_j^r = 候選車次 r 在停靠車站 j 之前所停靠之車站所成之集合，不含車站 j

參數部份：

M = 極大之正數

D_{ij}^t = 時段 t 由 i 至 j 的需求量

C^r = 候選車次 r 的總座位數

P^i = 車站 i 在每一時段允許通過之最大列次數

PA^a = 樣板 a 之候選車次中可被選用之最大車次數

W^r = 候選車次 r 的成本權重

$W1_{ij}^t$ = 時段 t 由 i 至 j 的需求延後 1 時段服務之懲罰權重

Wn_{ij}^t = 時段 t 由 i 至 j 的需求不服務之懲罰權重

決策變數部份：

$d0_{ij}^t$ = 時段 t 由 i 至 j 的需求量被即時服務之量

$d1_{ij}^t$ = 時段 t 由 i 至 j 的需求量延後 1 時段服務之量

dn_{ij}^t = 時段 t 由 i 至 j 的需求量不服務之量

x_{ij}^r = 候選車次 r 由 i 至 j 之配位數

y^r = 雙元變數，1 代表選用候選車次 r ，0 代表不選用

目標函數

$$\min \sum_{r \in R} W^r y^r + \sum_{t \in T} \sum_{(i,j) \in OD} Wn_{ij}^t dn_{ij}^t + \sum_{t \in T} \sum_{(i,j) \in OD} W1_{ij}^t d1_{ij}^t \quad (3.3-1)$$

限制式

$$x_{ij}^r \leq M y^r \quad \forall r \in R, \forall (i,j) \in P^r \quad (3.3-2)$$

$$\sum_{\substack{i \in SB_j^r \\ j \in SA_i^r}} x_{ik}^r \leq C^r \quad \forall r \in R, \forall j \in S^r \quad (3.3-3)$$

$$d0_{ij}^t + d1_{ij}^t + dn_{ij}^t = D_{ij}^t \quad \forall t \in T, \forall (i,j) \in OD \quad (3.3-4)$$

$$d1_{ij}^{|T|-1} = 0 \quad \forall (i,j) \in OD \quad (3.3-5)$$

$$\sum_{r \in R_{ij}^t} x_{ij}^r \geq d0_{ij}^t + d1_{ij}^{t-1} \quad \forall t \in T \setminus \{0\}, \forall (i,j) \in OD \quad (3.3-6)$$

$$\sum_{r \in R_{ij}^t} x_{ij}^0 \geq d0_{ij}^0 \quad \forall (i,j) \in OD \quad (3.3-7)$$

$$\sum_{r \in RB_i^r} y^r \leq P^i \quad \forall r \in R, \forall i \in S \quad (3.3-8)$$

$$\sum_{r \in RP_a^0} y^r \leq PA^a \quad \forall a \in A \quad (3.3-9)$$

$$\sum_{r \in RP_a^0} y^r = \sum_{r \in RP_a^1} y^r \quad \forall a \in A \quad (3.3-10)$$

$$y^r \in \{0,1\} \quad \forall r \in R \quad (3.3-11)$$

$$d0_{ij}^t \geq 0, \quad d1_{ij}^t \geq 0, \quad dn_{ij}^t \geq 0 \quad \forall t \in T, \forall (i,j) \in OD \quad (3.3-12)$$

$$x_{ij}^r \geq 0 \quad \forall r \in R, \forall (i, j) \in OD \quad (3.3-13)$$

此一數學模式採用樣板車次的概念，將特定車種、行程、停站模式之組合視為一種樣板。每一種樣板，則對應一組候選車次。同一樣板車次所對應之所有候選車次均具有相同之車種、行程、與停站模式。但在始發站之發車時間不同。而模式在求解時則由所有候選車次中挑選最佳之組合。此種建立模式之方式接近 **path formulation** 之概念。相對於 **arc formulation** 之建模概念，此種方式具有大幅減少決策變數之優點。然其缺點是依賴使用者提供適當之車次樣板，亦即使用者所提供之樣板車次將影響最後求解結果。比較兩種不同方式，在務實考量實用之需求、專業使用者之能力、以及本項額外工作對合約執行時間與資源之排擠下，本系統選用上述說明之建模方式。

在實務上鐵路系統不必然有能力滿足所有的運輸需求，而此一模式之限制式亦不要求完全滿足所有之旅客運輸需求，而是假設若鐵路系統無法在需求發生之時段提供滿足需求之運量，旅客可以延後至下一時段再旅行。若下一時段仍無法滿足，則可放棄部份乘客不予服務。目標函數(3.3-1)之第一項為開行車次之成本，第二項為放棄乘客之懲罰，而第三項則為乘客延後一個時段再服務之懲罰。

在限制式的部份，式(3.3-2)確保僅有獲得挑選之車次方得提供運能，式(3.3-3)使得各車次在所有站間，各種起迄對之配位數總數不超過該列車之總座位數。之後四組限制式與需求之滿足有關，式(3.3-4)使得對每一分時起迄而言，所有當時段獲得即時服務之乘客量、次一時段獲得服務之乘客量，與被放棄之乘客量之加總等於需求總量。式(3.3-5)之作用在使規劃期末，最後一時段之後無任何乘客能得到服務。式(3.3-6)目的在使前一時段未能獲得服務之乘客有機會在下一時段獲得服務。惟最早之時段並無前一時段之乘客，因此以式(3.3-7)處理之。

限制式(3.3-8)之目的在納入路線容量之考慮，限制每一車站每一時段所能通過或停靠之最大車次數。而限制式(3.3-9)則限制模式可由每一樣板車次之候選車次中挑選之最大車次數。限制式(3.3-10)要求每一樣板車次之候選車次中，兩行車方向被挑選之車次數應相等，以達到編組運用平衡之目的。

最後式(3.3-11)為雙元整數變數限制，使得所有候選車次均為獲選或不獲選。式(3.3-12)為服務旅客數之非負限制式，而式(3.3-13)為配位數之非負限制式。

此模式之目標函數(3.3-1)之係數對求解結果具有相當之影響力。參數 W^r 為候選車次 r 之成本權重，亦即代表開行每一候選車次之代價。由於目標函數對未能服務之需求量亦有其懲罰值，因此 W^r 將影響模式在「決定開行更多車次以服務更多旅客」與「決定服務較少旅客以降低成本」之間如何權衡取捨。在另一方面，參數 $W1_{ij}^r$ 與 Wn_{ij}^r 依序為對每一需求量延後 1 時段再提供服務，與不提供服務之懲罰。使用者可以經由這些參數之設定，控制模式給予個別起迄點需求（例如以臺北為起點，或以花蓮為迄站），或不同旅行時間（例如上午尖峰時段）之需求量之配位優先程度。此外，由於需求量以人次為單位，因此若所有這些參數均給予相同之數值，則所服務之人次數愈多，懲罰愈低。而在座位數固定之條件下，每位乘客之旅程愈短，所能載運之乘客人次愈高。因此模式將傾向於優先配位予短程旅次。相反的，若參數 Wn_{ij}^r 之值依其起迄站 i 與 j 而設定，使得未能服務長程旅次之懲罰值高於未能服務短程旅次之懲罰值，則模式傾向於優先配位予長程旅次。利用此一性質，本模式之使用者將能參酌需求之分佈型態以及系統營運目

標，適當設定各係數以得到理想之服務計畫。

由於此一模式求解不易，因此需要使用啟發式解法方能在合理時間內解得品質良好之近似最佳解。其基本概念接近變數產生法(column generation method)之基本策略，亦即在求解混合整數規劃問題時均僅納入部份變數，並且利用回合演算之機制適當替換參與求解之變數，逐漸提高解之品質。具體而言，模式中每一候選車次為一變數，而演算法依其規則，每次求解時均選取部份變數納入混合整數規劃模式中供最佳化程序從中挑選。啟發式演算法之輸入資訊包括分時起迄需求量、樣板車次清單、各樣板車次之候選車次中可被選用之最大車次數 PA^a 等。

在演算法初始時，對每一樣板車次產生的候選車次數為該樣板車次可被選用之最大車次數 PA^a 之 8 倍。這些候選車次在其始發站之發車時間則均勻分佈在整個規劃期（通常為 1 天）內，但以隨機方式略為前移或後移。隨機移動發車時間之目的在避免多數車次同時發車，造成後續班表求解困難。

演算法中使用一個混合整數規劃模式清單 L 以存放曾經求解過的混合整數規劃模式。此清單之作用在留存所發現之若干個優良可行解。若清單過小則失其作用，而清單過大亦幫助不大。經測試結果發現留存 5 個最優良解為適當之設定，亦即每一個模式在求解之後，若當時清單中之模式數量小於 5，則將新模式納入清單中。若清單中之模式數量已達 5 個，而新模式之最佳解目標函數值優於清單中之所有其餘模式，或比清單中之最劣者要優良 0.1% 以上，則將新模式納入清單中，同時刪除清單中之最劣者。

對每一候選車次均有一個 K 值，作為該候選車次之品質指標，並設定其範圍介於 5 與 95 之間。所有候選車次 K 值之初始值均設為 50。之後若被選入某回合之混合整數規劃模式中，且在求解之後被最佳解選中，則其值增加 4，最高不超過 95。反之，若被選入某回合之混合整數規劃模式中但未被最佳解選中，則其值減少 4，最低不小於 5。

演算法步驟列舉如下。其中第 5 步驟需要求解混合整數規劃模式。於實作時此部份係以 CPLEX 套裝軟體作為其求解核心。

步驟 1：初始化。令回合數 $T=0$ 。對給定的各樣板車次產生候選車次。對每一樣板車次 a ，兩行車方向各隨機選取 $2PA^a$ 之候選車次進入混合整數規劃模型。將所有候選車次之 K 值均設為 50。求解後更新 K 值並將該混合整數規劃模式送入清單 L 中。

步驟 2：由混合整數規劃模式清單 L 中取得一個模式。

步驟 3：對該模式上次求解時，最佳解選入之每一車次，以下列方式決定是否納入本次求解：由 0 至 110 之間以均勻分佈隨機取得亂數 r 。若 r 小於該車次之 K 值則該車次納入本次求解。否則，再取另一 0 至 100 間均勻分佈之隨機亂數，若小於 20 則該車次納入本次求解。否則該車次不納入本次求解。

步驟 4：對每一樣板車次之兩行車方向，各重複執行下列程序至納入混合整數規劃模式之候選車次數達到 $2PA^a$ 為止：自未納入本次求解之候選車次中隨機抽取一未納入混合整數規劃模式之候選車次。由 0 至 100 間均勻分佈之隨機亂數，若亂數小於該候選車次之 K 值則將該候選車次納入混合整數規劃模式中。

步驟 5：求解混合整數規劃模式並依規則加入清單 L 中。

步驟 6：令回合數 T 增加 1。若 T=15 則輸出清單 L 中最佳之解之後結束。
否則回到步驟 2。

3.4 運轉資源需求評估

鐵路系統之運轉需要耗費相當的各種資源。在諸多資源種類中，最主要者為人、車、路三項。其中「路」指軌道，而班表亦可視為鐵路系統運轉時，運用其軌道資源之計畫。而「人」則以司機員與列車長兩類乘務人員為最關鍵，其運用計畫亦相當複雜。在「車」則為維持營運所運用之各型動力與非動力車輛。

鐵路系統為一高度計畫性之系統，各種資源之運用均需要在事前妥慎規劃方有可能達到安全而高效率之理想。而鐵路以運轉為目標，而人、車、路以及其他諸多資源之運用計畫亦均以班表為中心。在規劃作業中，程序上需要先擬妥前述之服務計畫，再由服務計畫排定無衝突之班表。班表排定後，再據以排定各類乘務人員之運用計畫，以及各式車輛之車輛運用計畫。排定班表，以及班表排定後之各式運用計畫均相當精密，費時費力。而其中任一計畫若無法在可用資源範圍內達成，則極有可能需要修正服務計畫，造成工作之浪費。例如，依據某服務計畫排定無衝突之班表後，若發現所需要之某型車輛數量無法滿足所需，而另一型車輛利用率又偏低，則可能需要調整各車次所擬運用之車型。但車型之變動影響基準運轉時分，而基準運轉時分之變動又影響已排定之班表。而這些工作又往往分散於不同之部門，每次的回饋修正均造成相當之工作負擔與時間損耗。因此，若能在研擬服務計畫之階段即概略評估一組服務計畫所需之人、車、路資源，則將可減少未來再修正之機會，提高工作效率。

臺鐵目前各種資源運用計畫大都由工作人員依其專業知識與經驗為之。專業人員在排定服務計畫與班表時，均會同時考慮未來人員運用、車輛編組運用等因素。因此在目前實務上之作業程序中，並未見一個獨立的「運轉資源需求評估」階段。此一作業模式有高效率之優點，但過度依賴專業人才，並不利自動化之發展。未來如以自動化方式由電腦進行相關計畫之研擬，將專業人員之角色由「計畫之研擬者」提升成為「計畫之主導者」，則本項運轉資源需求評估之功能將成為專業人員複核、主導電腦之工作時之重要參考資料。

由班表出發而欲精準估計執行該班表時所需要之人、車資源，唯一的方法為具體排出人員運用計畫以及車輛運用計畫。此二項計畫之研擬均具有相當之困難度與複雜性，非本研究所能容納。而在服務計畫之階段，尚未確定班表行點，亦無精準估計之可能及必要性。較實際可行之方法為統計一份服務計畫中之總載客行駛時數、各型車輛之總運行里程、各站間路段之總通過列次數等資源需求總量，再依歷史經驗估計所需要之人數、車輛數等。詳細方法將說明於第四章。

3.5 廣義列車排點問題

傳統上學者將鐵路系統之決策作業分為企劃(strategic)、規劃(tactical)、與營運(operational)三個階段^[6]。依據訪談結果以及資料顯示，臺鐵體系之決策作業亦

大致類似；但基於實務上之需求，作業內容遠較上述三階段更為精細。在臺鐵的作業流程中，與排點作業相關的程序跨了企劃與規劃兩個階段。鐵路運輸之目的在服務社會上的運輸需求，因此廣義的排點作業亦始於決定運輸需求之後，而其成果則為可供旅客搭車選搭之班表，以及供營運使用之精密營運計畫。^[4]

廣義的排點作業始於**營運策略**之擬定，旨在依據運輸需求以訂定鐵路系統之服務型態以及資源投入運用之原則。依據營運策略，則進一步形成**服務計畫**，目的在依據鐵路系統之運輸能力與面對的運輸需求，擬定在各種不同時段，各不同路段所提供運輸服務的內容、質、及量。服務計畫之主要內容為各車次之行程、使用車種、停站模式、理想發車時間等基本資料。依據這些資料，再假設所有列車在每處站間皆使用最低的基準運轉時分，在每處車站均依預計停留時間停站，即可得到**理想班表**。一份理想班表大致上已經具備營運所需之所有資訊，惟尚缺各車次在各車站之股道分配，且其中通常含有大量之衝突。而狹義之排點作業即在由理想班表出發，在詳細考慮所有資源之運用後可得到**運轉計畫**。一份可行的運轉計畫即為能夠據以執行之計畫書，其中含有人(乘務人員)、車(車輛編組)、路(班表)之詳細運用計畫。有關廣義排點作業整理於表 3.1，其詳細說明可參見文獻^[4]。

表 3.1 廣義排點作業工作內容

決策階段	排點階段	考慮因素	成果內容
企劃	營運策略	<ul style="list-style-type: none"> 車隊特性、路線特性、需求型態、企業目標、社會責任 	<ul style="list-style-type: none"> 營運區間之劃分 車輛運用區間 服務模式 停站模式
	服務計畫	<ul style="list-style-type: none"> 系統運輸能力 運輸需求 可用人力 可用車隊 	<ul style="list-style-type: none"> 各種時段、各營運區間之服務供應量 車輛型式規劃
	理想班表	<ul style="list-style-type: none"> 牽引力 停站需求 可用人力 可用車隊 	<ul style="list-style-type: none"> 含有衝突之班表
規劃	運轉計畫*	<ul style="list-style-type: none"> 股道分配 衝突排除 人力運用 車輛運用 	<ul style="list-style-type: none"> 詳細資訊之班表 所有車次在所有車站之股道分配 所有軌道電路之占用與釋放時分

註：狹義之列車排點屬此階段。

註：資料來源：^[4]。

3.6 列車排點概述

如前所述，列車排點問題以理想班表為出發點，其目的在產出能夠執行之運轉計畫。因此所產生之班表必須使得列車以及號誌系統均有能力依循執行而不違反任何相關規章與基本物理定律。

在基本物理定律方面，與列車排點最為相關者為列車之出力性能。列車受到機械能力之限制，在不同之運轉速率下有不同的出力極限。同時列車受到外在的坡度、軌道條件等環境，以及內在的機械作用而受到各種阻力。出力極限與阻力又依牛頓之運動定律，限制了列車的的最大加速度，從而決定了列車在軌道上由一點運行至另一點所需之最小時間，或稱「基準運轉時分」。此項數據為排點作業之重要參數，實務上常以電腦模擬或實車測試之方式測定之。若有精準可靠之行車紀錄，亦可用以測定適當之基準運轉時分^[4]。若班表在每一站間配予列車的運轉時分均滿足其基準運轉時分，再配合適當之駕駛作為，則列車之機械能力將足以供其依循班表運行。若班表給予之運轉時分不足，則列車所實際運行之時分將大於班表所配予之時分，即產生晚點。

列車運行時受制於軌道。在軌道分岔處需要利用道岔以引導列車行進之方向。因此在列車抵達之前，道岔必須扳轉到正確的開通方向，以利列車安全而正確通行。然而司機員在駕駛艙並無法於安全緊軔距離外直接目視道岔的開通方向，因此需要利用號誌設施呈現之，以供司機員判斷是否能安全通過。此種設計使得司機員駕駛列車時，只要遵循號誌的管制即可確保安全與正確。在一列列車通過道岔之後，該道岔可能需要花費一段時間變換開通方向以供下一列車通過。若不同道岔之間有聯鎖關係，則所費時間可能更多。因此前後列車通過同一支號誌機的時間需要有一時隔，以供號誌系統正確運作。此一時隔之最小需求受到列車性能、列車狀態、號誌配置、以及號誌系統性能之影響，通常稱為最小時隔，或最小安全時隔。若班表排定時，在每一號誌機均為前後列車之間均留有適當之時隔，則鐵路系統之號誌與道岔將有充足之時間得以正常運作。否則號誌即有可能因為不及完成扳轉，使得隨後之列車無法依班表所分配之時間通過，而造成晚點。

列車在軌道上運行必須遵循行車制度，因此排點時亦應考慮行車制度之特性。臺鐵之行車制度係採閉塞方式，亦即將整個軌道系統區分為多個固定的閉塞區間。絕大多數路段在每一閉塞區間均設有軌道電路與計軸器，少數路段則不設軌道電路，改設兩套獨立運作之計軸器。這些軌道電路與計軸器之功能在偵測所轄閉塞區間內是否有列車佔用。若能確保在任一時間，同一閉塞區間內僅同時准有一列列車運轉，則可確保列車不碰撞。配合此一性質，在排點時亦應考慮路線上閉塞區間之布設，並在班表中配與各車次適當之佔用時間與釋放時間。惟以臺鐵系統現況，僅設有站間之基準運轉時分，而未針對各閉塞區間設定其基準運轉時分。未來若欲達到排點工作之精緻化與自動化，將基準運轉時分之最小單位由站間提升至閉塞區間為一重要步驟。

3.7 自動排點數學模式

列車排點問題本質上為數學問題，因此能以數學模式明確描述之。本研究依招標文件之建議，以本所 100 年度鐵路列車排程模式建立及運行資料分析校估之研究(MOTC-IOT-101-EDB003)^[4]所發展之相關參數及演算法為基礎。本小節簡要回顧該研究之模式。

列車排點問題可依其決策內容之連續或離散，分割為股道分配與行點排定兩大部份，其中前者屬離散之決策，而後者則屬連續量之決策^[21]。對於股道之分配，本模式以「股道分配模式」為之，如式(3.8-1)至式(3.8-4)所示。其中 T 為行經某一車站之所有車次所成之集合； R 為該車站所有股道所成之集合。唯一的一組變數 b_{tr} 為雙元變數，其值為 1 代表車次 t 於該車站使用股道 r 。若其值為 0 則代表該車次未使用該股道。式(3.8-1)為目標函數，其中之常數權重 P_{tr} ，代表了車次 t 對股道 r 之偏好，愈優先使用之股道，其權重值愈小，而最佳化之目標則在極小化所有車次在該車站所分配使用之股道，其權重總和。對所有在該站進入與離站順序不同之車次對 t 與 s ，式(3.8-2)確保該二車次不使用同一股道。式(3.8-3)使得每一車次均獲得恰好一股道之指派，而式(2.8-4)則為雙元整數限制。

$$\text{Minimize } \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} P_{tr} b_{tr}$$

(3.8-1)

Subject to

$$\begin{aligned} b_{sr} + b_{tr} &\leq 1 \quad \forall t \in T, s \in T, r \in R, \text{ and } t, s \text{ changed orders} \\ \sum_{r \in R} b_{tr} &= 1 \quad \forall t \in T \end{aligned} \quad (3.8-2)$$

此模式之目的在禁止班表中發生股道進出順序衝突。此類衝突與列車之行點以及運行方向均無關，因此模式中不含時間因子，亦無列車行進方向之考量。

行點之排定，則可以「行點模式」求解之，如式(3.8-5)至式(3.8-20)所示。

$$\text{Minimize } \sum_{k \in V} W_k (W^{P1} r_k^1 + W^{P2} r_k^2 + W^{P3} r_k^3 + W^{D1} \text{delay}_k^1 + W^{D1} \text{delay}_k^2 + W^{D3} \text{delay}_k^3) \quad (3.8-5)$$

Subject to

$$d_{hk} \geq a_{hk} + T_{hk}^{\min} \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \quad (3.8-6)$$

$$d_{hk} \leq a_{hk} + y_{hk} + T_{hk}^{\text{ext}} \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \quad (3.8-7)$$

$$y_{hk} \leq E_h \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \quad (3.8-8)$$

$$r_k \geq a_{B_k^0 k} - G_k \quad \forall k \in V \quad (3.8-9)$$

$$r_k \geq -a_{B_k^0 k} + G_k \quad \forall k \in V \quad (3.8-10)$$

$$r_k^1 + r_k^2 + r_k^3 \geq r_k \quad \forall k \in V \quad (3.8-11)$$

$$r_k^1 \leq W^{*P1} \quad \forall k \in V \quad (3.8-12)$$

$$r_k^2 \leq W^{*P2} \quad \forall k \in V \quad (3.8-13)$$

$$a_{hk} - d_{h, P^-(h,k)} \geq C_{h, P^-(h,k), k} \quad \forall h \in B_k \setminus B^S \quad \forall k \in V \quad (3.8-14)$$

$$d_{B_k^0 k} = a_{hk} \quad \forall h \in B_k \quad \forall k \in V \quad (3.8-15)$$

$$d_{B_k^F k} - a_{B_k^0 k} = \text{delay}_k + \text{Trip}_k \quad \forall k \in V \quad (3.8-16)$$

$$\text{delay}_k^1 + \text{delay}_k^2 + \text{delay}_k^3 \geq \text{delay}_k \quad \forall k \in V \quad (3.8-17)$$

$$\text{delay}_k^1 \leq W^{*D1} \quad \forall k \in V \quad (3.8-18)$$

$$\text{delay}_k^2 \leq W^{*D2} \quad \forall k \in V \quad (3.8-19)$$

$$y_{hk} \geq 0 \quad \forall i \in B_j \quad \forall k \in V \quad (3.8-20)$$

模式之符號定義說明如下。

h 軌道電路的註標

B 所有軌道電路所成的集合

B^S 位於車站內所有軌道電路所成的集合

V 所有車次所成的集合

G_k 車次 k 的理想發車時間

E_h 任何車次在軌道電路 h 的最大允許額外耗時

Trip_k 車次 k 的全程最小旅程時間

T_{hk}^{\min}	車次 k 在軌道電路 h 的最小占用時間
T_{hk}^{ext}	車次 k 在軌道電路 h 的延伸占用時間，為最小占用時間加上寬裕量
B_k	車次 k 所行經的所有軌道電路所成之集合
B_k^0	車次 k 所使用的第一個軌道電路
B_k^F	車次 k 所使用的最後一個軌道電路
B_k^F	車次 k 所使用的最後一個軌道電路
$P^-(h,k)$	在車次 k 之前一個使用軌道電路 h 的車次
B_{hk}^-	車次 k 使用軌道電路 h 之前一個使用的軌道電路
W_k	車次 k 的權重
W^{D1}	任一車次總班表延遲量的第 1 段權重
W^{D2}	任一車次總班表延遲量的第 2 段權重
W^{D3}	任一車次總班表延遲量的第 3 段權重
W^{*D1}	任一車次總班表延遲量的第 1 段權重允許量
W^{*D2}	任一車次總班表延遲量的第 2 段權重允許量
W^{P1}	任一車次理想發車時間差異量的第 1 段權重
W^{P2}	任一車次理想發車時間差異量的第 2 段權重
W^{P3}	任一車次理想發車時間差異量的第 3 段權重
W^{*P1}	任一車次理想發車時間差異量的第 1 段權重允許上限
W^{*P2}	任一車次理想發車時間差異量的第 2 段權重允許上限
C_{hmk}	車次 m 與車次 k 共同使用軌道電路 h 時的最小時隔

決策變數部份：

$delay_k$	車次 k 的總班表延遲量
$delay_k^1$	車次 k 的總班表延遲量，第 1 段
$delay_k^2$	車次 k 的總班表延遲量，第 2 段
$delay_k^3$	車次 k 的總班表延遲量，第 3 段
a_{hk}	排定車次 k 到達軌道電路 h 的時分
d_{hk}	排定車次 k 離開軌道電路 h 的時分

- y_{hk} 車次 k 在軌道電路 h 的班表延遲量
- r_k G_k 與車次 k 發車時分之差異之絕對值
- r_k^1 G_k 與車次 k 發車時分之差異之絕對值，第 1 段
- r_k^2 G_k 與車次 k 發車時分之差異之絕對值，第 2 段
- r_k^3 G_k 與車次 k 發車時分之差異之絕對值，第 3 段

列車行點模式之目標函數(3.8-5)在追求所有車次在班表中之發車時間與理想發車時間最接近，而且行車時間最短。其方法是將發車時間與理想發車時間之差的絕對值分為三段，每段在目標函數中給予的權重則漸增。行車時間亦以類似手法處理，將最小行車時間之上的延遲時間量亦分為三段，同樣每段給予漸增的權重。在極小化目標函數值的驅使下，最佳解中各車次之發車時間與理想發車時間之差距，以及各車次之行車時間，均將趨向於最小。

限制式(3.8-6)限定所有車次在所有軌道電路的最小佔用時間。在站間，此最小佔用時間由基準運轉時分所決定，而基準運轉時分則由牽引種別所決定。由於本模式係就所有車次行經之所有軌道電路均有其個別之變數與限制式，因此即便不同區間使用不同牽引種別，亦可充份容納之。另一方面，在站內月臺所在之軌道電路之最小佔用時間，則可設定為該車次在該車站所需之最小停站時間。此種設計預留了很大的彈性。若需要對同一車次，於不同月臺停站時各有不同之最小停站時間，本模式亦可納入考慮，不需任何修改。

限制式(3.8-7)將所有車次在所有軌道電路的實際佔用時間劃分為為延伸佔用時間 T_{hk}^{ext} 與班表延遲量 y_{hk} ，而延伸佔用時間為最小佔用時間加上一寬裕量。限制式(3.8-8)對每一車次在每一行經之軌道電路之班表延遲量給予一上限值。限制式(3.8-9)與限制式(3.8-10)則使得 r_k 之值至少等於車次 k 在班表中之發車時間與其理想發車時間差距之絕對值。與此相關的限制式(3.8-11)將此一差距值分割為 r_k^1 、 r_k^2 、與 r_k^3 三段，而各段之最大量則受限制式(3.8-12)與限制式(3.8-13)之約制。這三個量均在目標函數之一部份，對求解方向有直接的引導作用。

在實務上，最小時隔具有多種態樣。除了依所在地點之軌道佈設外，並依前後兩車之行駛方向等亦有所不同，甚至有可能因各地之特殊性而有特殊之規定。模式之限制式(3.8-14)為時隔限制式，使得先後佔用同一軌道電路的兩車次之間保持至少 C_{hmk} 之時隔。由於 C_{hmk} 為數學模式中之常數，因此本模式可以因車、因地制宜而納入各種複雜的考慮因素而決定所需之時隔，對其求解之難度均無影響。因此本模式保有最大之彈性，亦即任何複雜態樣之最小時隔規定均能容納於本模式中。

限制式(3.8-15)之作用在維持每車次在任一時間點均必須佔用某一軌道電路之物理限制。限制式(3.8-16)左側為車次 k 由發車到收車之總旅行時間，而右側則為該車次已知之最小旅行時間與班表延遲量之和。此一班表延遲量於限制式(3.8-17)分為三部份，而限制式(3.8-18)與限制式(3.8-19)則限制各段容許之最大量。最後，限制式(3.8-20)為非負限制式。由於各車次於各軌道電路的到開時分變數

a_{hk} 與 d_{hk} 受到諸多限制式之束約，並不再需要非負限制式，因此僅限制班表延遲量 y_{hk} 不得為負值。

3.8 班表衝突檢查與排除

所謂班表中之衝突，乃是指班表中含有之瑕疵。在實務上，列車在運行時受到號誌系統之管制與保護，正常狀況下即便班表中含有瑕疵，列車亦不致發生碰撞。偶或有列車碰撞事件，亦多與班表無關。本小節所描述之班表衝突檢查與修正技術，即在使電腦具有自動化之能力以修正班表瑕疵，與列車運行時之碰撞實無直接關係。惟為與一般用語相一致，本報告對班表之瑕疵仍以班表衝突稱之。

衝突檢查並不需要排點技術，其技術層次相對單純。惟目前臺鐵排點人員依其專業知識與經驗，在排點過程中雖然充份考慮列車在行經車站時所使用之進路與股道，但股道分配之方式並未紀錄於排點系統中。因此本系統執行衝突檢查之前需要先完成股道之自動分配。

在本系統整體 SOA 架構下，衝突檢查設計為獨立程式。經使用者啟動後程式將依指示由 RDSP 取得班表並檢查其中之衝突。

完全使用自動排點系統以排定班表時，系統自動產生之班表應不含衝突。然而審酌目前臺鐵局之作業方式、分工制度、以及套裝軟體之成熟程度，近期內臺鐵局在排點時，行點之決定以及衝突之檢查與排除應仍以人工作業為主。因此衝突檢查之功能在此方面仍有其階段性之必要。

此外，自動排點系統使用甚多參數。而衝突檢查模組係以相同之參數組作為檢查之基準。因此利用衝突檢查模組以檢查臺鐵真實班表時，將有助發現軟體所使用之排點參數需要校正之處。未來本系統若適當界接臺鐵之 ATP 系統，則可自動利用 ATP 之行車紀錄以還原完整之全系統真實運轉紀錄。利用本系統之衝突檢查功能以檢查這些行車紀錄時，可有助校正排點時所使用之參數。

班表中之衝突，往往並非由單一車次所造成，而是涉及二或更多車次。且由於列車間之互制，在調整之過程中亦常牽一髮而動全身。因此班表中之衝突排除並不能單純考慮衝突本身，以局部調整之方式為之，而是需要全盤考慮。否則排除一處之衝突，往往造成其他地方之衝突。而多次局部調整之結果，甚至有可能產生循環之現象。

班表衝突可分為四種型式^[4]。第一型衝突為股道進出順序上之衝突。若班表安排兩列列車以先進後出之方式通過某一股道時，這兩列列車必有某一時間占用同一軌道電路，即發生此型衝突。此型衝突可能發生在站內，亦有可能發生在站間。如圖 3.1 所示意，班表安排車次a與車次b使用股道 2 行經車站S。兩列車之進站順序為車次a先行，車次b隨後到站。而出站順序則為車次b先開車，車次a隨後開車。因此造成兩車在股道 2 發生衝突。此型衝突之發生與否僅與列車進出股道之分配以及順序有關，與列車之行進方向以及行點均無關。因此欲消除此型衝突，必須調整列車之股道分配，或進出股道之順序。若僅調整行點而不調整股道分配亦不調整進出股道之順序，則無法消除此型衝突。

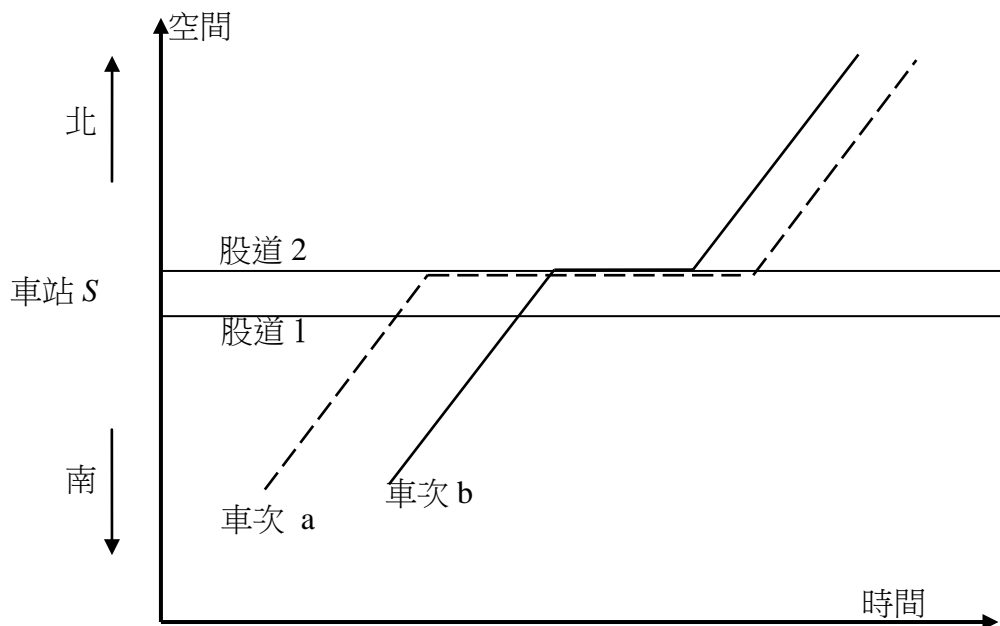


圖 3.1 第一型衝突示意圖

第二、三、四型衝突依序為時隔不足、站間運轉時分或站內停站時間不足、以及站間運轉時分或站內停站時間過長。這些型式之衝突均有可能以調整行點之方式排除之。

由於上述第一型衝突之成因及特性與其他三型不同，因此消除衝突所需要之技術亦不同。消除第一型衝突不可避免需要調整列車之股道分配或進入股道之順序，因此一般而言對行點之影響較第二、三、四型衝突為大。第一型衝突所需之電腦演算時間亦遠大於其他三型所需。在核心技術上，消除第一型衝突需要前述自動排點之大部份技術，而消除其餘三型衝突所需要之技術則以構建及求解前述行點模式為主。

在軟體的功能設計上，本系統之衝突檢查功能將涵蓋所有型式。但配合衝突特性以及所需之技術，本系統之自動消除衝突功能將以消除第二、三、四型衝突為範圍。至於第一型衝突，則建議以待調整、含有衝突之班表作為理想班表，利用自動求解班表之功能重新排點即可。

3.9 臨時列車之排點

除了開行班表中之既定車次之外，臺鐵並有開行臨時列車之需求。例如春節等特殊大量運輸需求、機關團體之個別申請、軍方之運輸需求、乃至於局內為執行車輛與路線之測試而產生之需求等，均產生大量之臨時列車需求。就列次數而言，目前臺鐵系統中臨時列車之數量比例極低，不及正常列次數之百分之一。然而就排點工作觀之，臨時列車所帶來之工作量卻超過一般排點之工作量。在另

一方面，臺鐵正常班表之行車原本即已相當密集，車站股道又常不足，因此依旅客要求排入臨時列車經常對其他正常班表之車次造成相當之影響。而臨時列車因為係外加於原本已妥善安排之各種營運計畫之外，因此所造成之回送車次遠高於維持一般列車運轉所需之回送車次數量。種種困難使得臨時列車已成為臺鐵相關人員之重大工作負擔與壓力來源。因此本系統將臨時列車班表之排定列為主要核心功能之一。

臨時列車班表之編排，基本上係在給定的背景班表中依需求插入額外的列次。本系統將以本所「臺鐵包車營運需求下列車班表之研究」所發展之演算法^[3]為基礎，予以改良以提高軟體效能。

排定臨時列車時所需要之背景班表為使用者所提供。以臺鐵目前所使用之排點相關軟體雖有簡單之分配股道功能，但係依固定之規則將股道分配與各車次。所分配之成果是否完全保證無股道衝突，並不明確。且並未考慮列車使用不同股道時所需之運轉時間不完全相同之狀況。在實務上，依現行作業程序，在排點階段並不設定各車次於各車站所使用之進路，而是相關人員依其知識與經驗確保所編排之班表未來在執行時之可行性。待班表行點確定之後，於輸入 CTC 系統之階段，再由經驗豐富之人員分配各車次於各車站所使用之進路。因此，臺鐵現行使用排點相關軟體並無法提供明確真實之進路設定資訊。

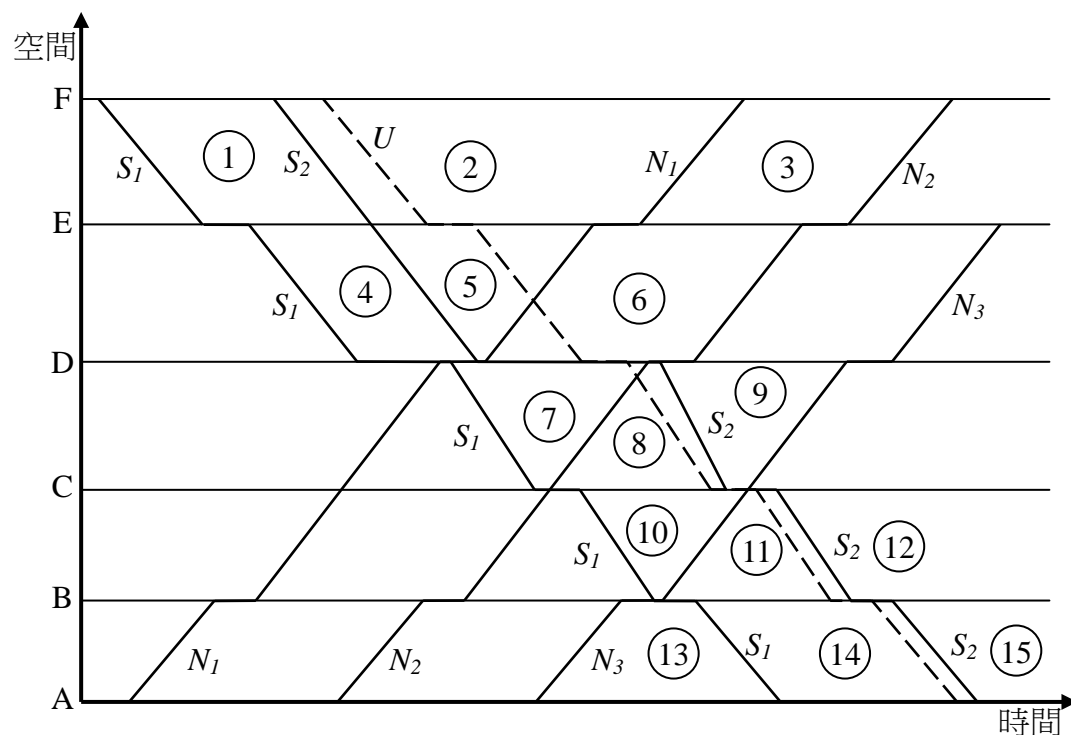
此種作業程序造成電腦化臨時列車編排之困難。當軟體系統在給定之背景班表中自動安插臨時列車時，其安插方式，甚至是否能夠依需求安插臨時列車，均與背景班表之進路設定有關。而 CTC 系統並未與外界雙向橋接，使得 RDSP 無法取得進路設定。

為了慎重處理上述現象，並且在排入臨時列車時確保背景班表中完全無衝突，本系統在載入使用者所提供之背景班表後需要先執行股道還原之程序，在完全依循背景班表之行點的條件下，精準分配所有車次在所有車站之股道。之後再依此運算結果，進行臨時列車行點與股道之編排。

本研究對臨時列車之排點，所使用之核心技術與前述班表求解之策略類似，亦將臨時列車排點問題分割成為連續量與離散量分別求解。在連續量方面使用前述行點模式求解之，在此不重複贅述。在離散量之部份，則利用最短路徑模型為之，其目的在求得臨時列車與背景班表中各車次之間，一組良好之相對順序。茲以下例說明之。需特別注意者為，以下之求解程序係針對順序之求解而設計，因此其中並無時間屬性。

如圖 3.2 所示意，考慮一個給定的背景班表，所欲嘗試插入之臨時列車 U 如虛線所示。由於此處並無時間屬性，因此圖 3.2 之橫軸上各點僅有離散之先後關係意義，並無連續之時間意義。圖中可見在背景班表中，每一處站間的路段，在前後兩車次間之時間區段均予以編碼，以圓圈中之數字示之。因此，在背景班表中尋求可安插臨時列車由一處站間路段，經過一處車站到下一處站間路段之可能方式，相當於尋找由對應的一處時間區段到另一時間區段之機會。例如，若欲在背景班表中尋求臨時列車由路段 C=D，經過車站 C 進入路段 B=C 之可能方式，則可以考慮由時間區段 7 進入時間區段 10、由時間區段 8 進入時間區段 10、由時間區段 8 進入時間區段 11 等多種可能性。針對每一種組合，均能構建並求解前述「股道分配模式」。若該模式存在有可行解，則該種組合在股道分配上可行，亦即臨時列車有可能以該種方式由路段 C=D，經過車站 C 進入路段 B=C。相反

的，若該模式無可行解，則臨時列車不可能以該方式行經車站 C。

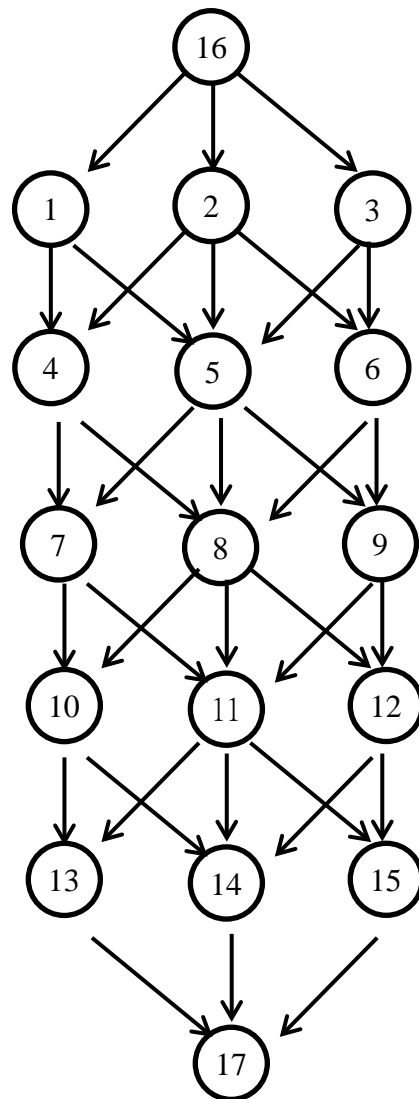


資料來源：[3]

圖 3.2 臨時列車演算法示意圖

利用前述方法，可以建立一最短路徑模型以尋找臨時列車的可用路徑。圖 3.3 之最短路徑模型示意圖中，除節點 16 與節點 17 依序為起點與終點節點外，其餘每一節點對應圖 3.2 中之一時間區段。若兩時間區段之間利用上述方法判斷為可行組合，則在最短路徑模型中給予對應之節線，否則即無該節線。節線成本之設定之基本原則為，位在中間路徑之節線之成本為 0，其餘節線成本為 1。以圖 3.3 之網路為例，中間路徑為路徑 16-2-5-8-11-14-17，因此其上之所有節線成本均為 0。程式實作時，亦可利用設定節線成本之方式以引導模式解得適當之路徑。

建立網路後，其起點節點至終點節點之任一路徑均為臨時列車之可行路徑。由於該網路無迴圈，且其在構建網路的過程中可自然形成拓樸排序不必耗費額外計算時間，因此能夠在節線數量的線性時間內求解完成。而由於本網路之節點數量與節線數量成線性關係，因此最短路徑之求解時間與節點數量亦僅有線性複雜度關係，求解快速。



資料來源：[3]

圖 3.3 最短路徑模型

3.10 資料庫

鐵路資訊龐大而複雜。臺鐵系統以其悠久之歷史，所累積之資訊量甚為可觀。目前雖仍有部份資訊以紙本型態存在，但絕大部份均已數位化存放於電腦系統中。然而長期發展的歷程，以及過程中持續的軟硬體技術進步與設施更新，使得各電腦系統之間缺乏互通與整合之機制，形成多數資訊孤島。這種現象並非臺鐵所獨有，但臺鐵系統的複雜卻構成資訊整合之重大障礙。

在另一方面，任何功能完整的自動排點系統必須掌握完整之資訊，方能達到設置之目的。以臺鐵系統而言，此方面最主要的技術障礙為不同來源資訊之間基準不一致以及不完整。例如相同車站在不同資料庫使用不同編碼造成行車紀錄與售票紀錄難以整合、ATP紀錄以地上感應子為中心而非以車站為中心造成站間運轉時分難以掌握等。而一個具備整合能力之資料庫為達到資訊融合之第一步。為此本研究採用本所之RDSP資料平臺^[22]作為其核心資料庫。

3.11 軟體技術

鐵路排點為一至為複雜之問題。除了在數學方面具有相當之挑戰性外，在套裝軟體之實作方面亦有其難度。依招標文件之要求，本研究以發展自動化排點系統雛型程式為目標。然而為了未來能持續長久發展成為完整之實用系統，本研究採用 SOA 作為軟體設計原則。在該原則下，整個軟體系統由一群程式模組所構成，而各模組之間則儘量獨立，維持鬆散之關係。在這種架構下，資料之交換便成為整體系統能否有效率運作之重要關鍵。為此本研究利用 RDSP 資料平臺作為所有模組間之資料交換中心。該平臺之原始設計即為配合鐵路決策支援系統而發展，因此運用於本研究之系統，應屬恰當。

採用 SOA 架構有很多優點。由於各程式模組相互獨立，因此其發展建置之順序具有甚高之自由度，適合未來臺鐵局視需求與可用資源持續發展之。各模組亦可視需求予以抽換而不影響其他模組，亦有利於長遠之發展。此外，各模組可以使用不同之程式語言、在不同平臺上，在共同的標準下發展，使得未來臺鐵局接續發展時可以開放給多數不同單位共同參與，有利加速發展過程，並且避免受限於單一技術。

第四章 軟體設計

本研究之主要目的在設計實作自動排點系統之雛型。本章說明軟體之架構與各項功能之基本設計。本軟體系統設計採用雲端化技術、服務導向架構(SOA) 的原則來設計鐵路列車自動化排點系統。各子系統依據其定義的需求規格設計其功能，各子系統模組之間則儘量獨立，維持鬆散連接的關係。在這種架構下，資料之交換便成為整體系統能否有效率運作之重要關鍵。為此本研究利用前期計畫設計的RDSP資料平臺^[22]作為所有子系統與模組間之資料交換中心。同時並採用物件導向分析設計法，定義各個模組的通訊與資料交換介面。並且依照統一建模語言(UML)的方法設計各個模組的使用案例圖(use case diagram)、軟體模組時序圖(sequence diagram)。

4.1 自動化排點系統架構

本系統之軟體架構在 SOA 原則下採分散式設計，將使用者介面、演算核心、資料庫等重要部份分別作獨立設計，並實作成為獨立軟體。執行時則以網路串聯各部份以達成既定之任務。各個軟體子系統可以安裝在同一臺主機上，亦可跨網路安裝於異地電腦上，甚至可在同一臺硬體電腦上裝設多臺虛擬主機，再將各個子系統安裝於各個虛擬主機中。此一設計可以在許多方面提供重要的彈性，也方便未來移植到純雲端運算的環境。而使用者所直接操作之軟體僅有使用者介面，在本架構下亦為獨立運作之軟體，由於使用者介面對電腦硬體效能需求並不高，因此可以方便安裝於任何相容電腦上。

排點系統的架構設計將使用者介面與運算的核心分離，並以符合雲端服務(Web service)規範的通訊介面作為兩者之間的通訊協定，讓使用者端的使用者介面可以彈性的設計，以符合不同場合使用者的需求。除了使用者介面之外，共同構成本系統之演算核心以及資料庫亦以類似概念實作而成。所有之軟體均依其功能需求實作成為獨立之程式，並且儘量避免不同程式間之直接資料交換，因此後端也採用準雲端的系統架構設計各子系統，盡量將每一個子系統或是模組設計包裝成雲端服務的模組，各模組之間的交換與通訊也採用雲端服務的形式，以XML檔案形式交換資料，或是經由RDSP資料平臺^[22] 交換資料。

自動化排點系統架構如圖 4-1 所表示，在雲端排點核心部分，本系統依其功能分為「應用程式伺服器」、「班表分析」(含班表衝突檢查)、「班表模擬」、「方案資源評估」、「衝突檢查」(含衝突修正)、「資料處理與參數校估」、「排點核心」與「最佳化軟體Cplex®」等各個子系統，連同RDSP資料庫平臺形成自動化排點系統的私有雲(private cloud)，各子系統均安裝於防火牆保護之網域內，對外僅開放公開的標準的網際網路連接埠，如http(port:80), https(port:443)等，並以http介面與XML格式與前端的排點系統APP連接。排點系統的核心的核心子系統之間以XML的資料格式交換資料，或是透過RDSP資料平臺^[22]存取交換資料。對外則以應用程式伺服器為單一窗口，提供前端排點系統應用程式介接，前端程式則負責使用者介面的呈現，以及將使用者需求轉化為後端雲端服務呼叫，並且將雲端回

傳的運算結果解析後圖形化顯示，提供使用者操作與顯示介面。

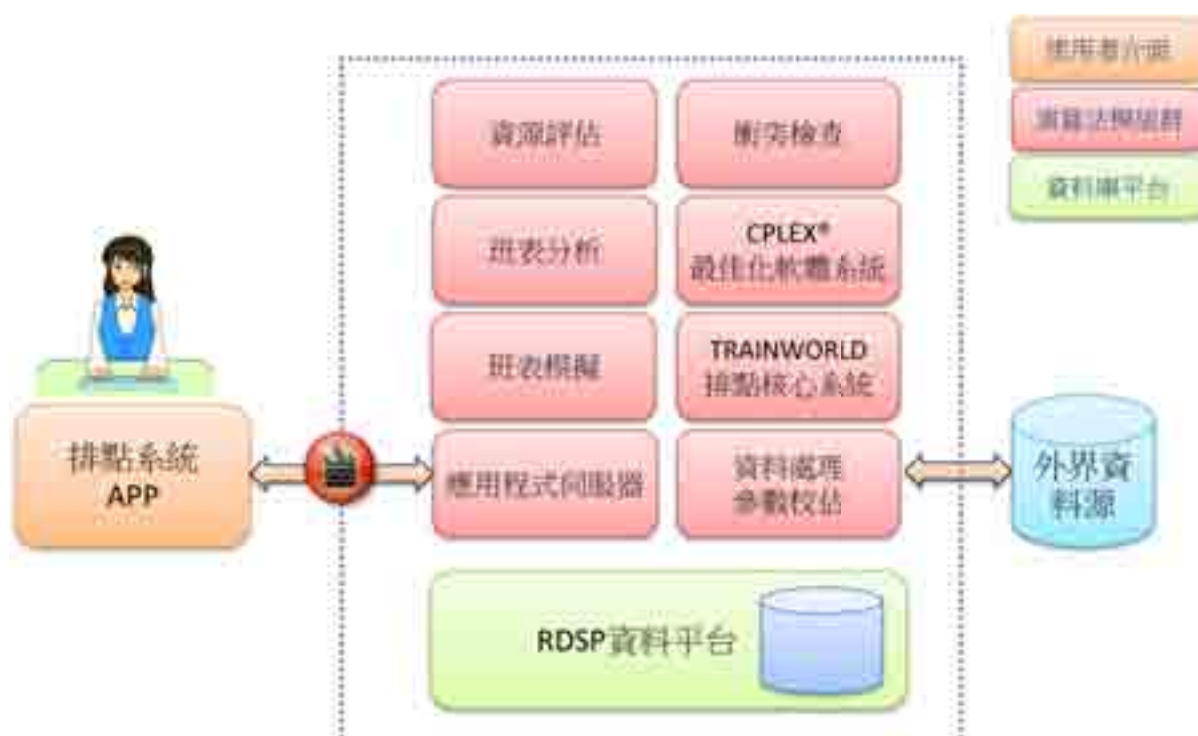


圖 4.1 自動化排點系統架構設計示意圖

4.2 自動化排點系統使用案例

本節將以使用案例圖(use case diagram)來探討並介紹自動化排點系統의 各種使用情境。前端自動排點使用者介面以應用程式的形式，透過網路存取或是呼叫排點系統雲端服務進行自動排點（全線班表）或是插入臨時列車的排點工作。自動化排點系統之使用案例圖如圖 4.2 所表示，排點系統操作人員可使用系統提供的七大功能：「服務計畫」、「班表管理」、「運行圖顯示」、「全線班表排點」、「臨時列車排點」、「衝突檢查」與「衝突排除」。這些功能中除了服務計畫功能外，均直接或間接使用 RDSP。而班表管理功能則使用資源評估演算核心。而與排點及衝突相關的四項功能則會在啟動後呼叫資料融合程式由 RDSP 取得所需之資訊，予以融合後交由求解核心使用。求解核心則以 CPLEX 為其最深處的求解引擎，並在完成求解後，將資料予以分解匯入 RDSP 收納之。

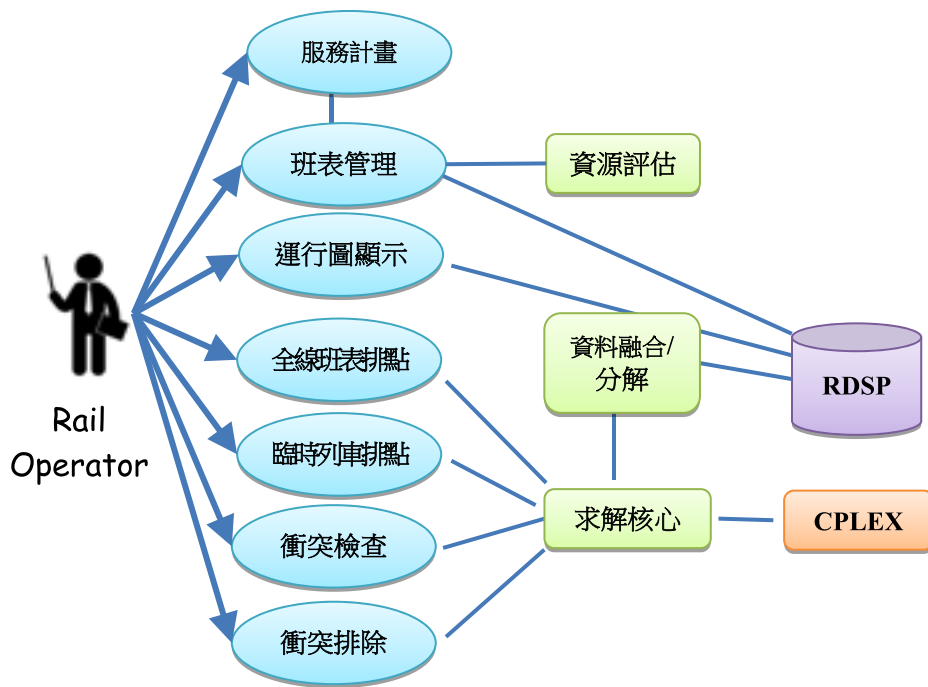


圖 4.2 自動化排點系統使用案例圖

4.3 自動化排點系統軟體模組

在上述自動化排點系統架構與使用案例之下，自動排點系統包含了許多軟體模組，各模組之間的相互關係如圖 4.3 所表示。對照前述的三個主要使用者案例的「臨時列車排點」、「全線班表」、「運行圖」，在應用程式伺服器中會有這三個雲端服務對應的入口（參考圖 4.1），將此三個服務包裝成雲端服務 Web service，前端的排點系統應用程式透過 Web service 介面呼叫服務。

「全線班表」功能包含了整個自動排點系統各個核心軟體模組，包含「班表分析」、「衝突排除」等項目，而「班表分析」又包含了「運轉資源需求分析」、「衝突檢查」、「班表模擬」等模組，其中「衝突檢查」、「班表模擬」兩模組會使用到「股道分配」處理模組。「衝突排除」則為自動排點最佳化的核心，包含了「班表求解核心(Cplex®)」、「求解參數控制介面」與「求解過程監控」模組，各模組之間的關聯如圖 4.3 所表示。

「臨時列車排點」與「全線班表」功能類似，差別在於前者是給定一個背景班表之後，再根據此背景班表，呼叫系統插入一班臨時列車並解決相關的衝突，必要的時候可以微調背景班表。

「運行圖」的功能較為獨立，使用者選擇想要檢視的運行圖種類之後，前端排點系統應用程式呼叫雲端應用程式伺服器中的運行圖模組，並將參數傳給該模組後，由該模組直接存取 RDSP 資料平臺相對應的軌道運行資料，並且組合成事先定義好的運行圖 XML 格式傳送回前端排點系統應用程式，應用程式解析資料後再以圖形化的方式呈現各種運行圖。

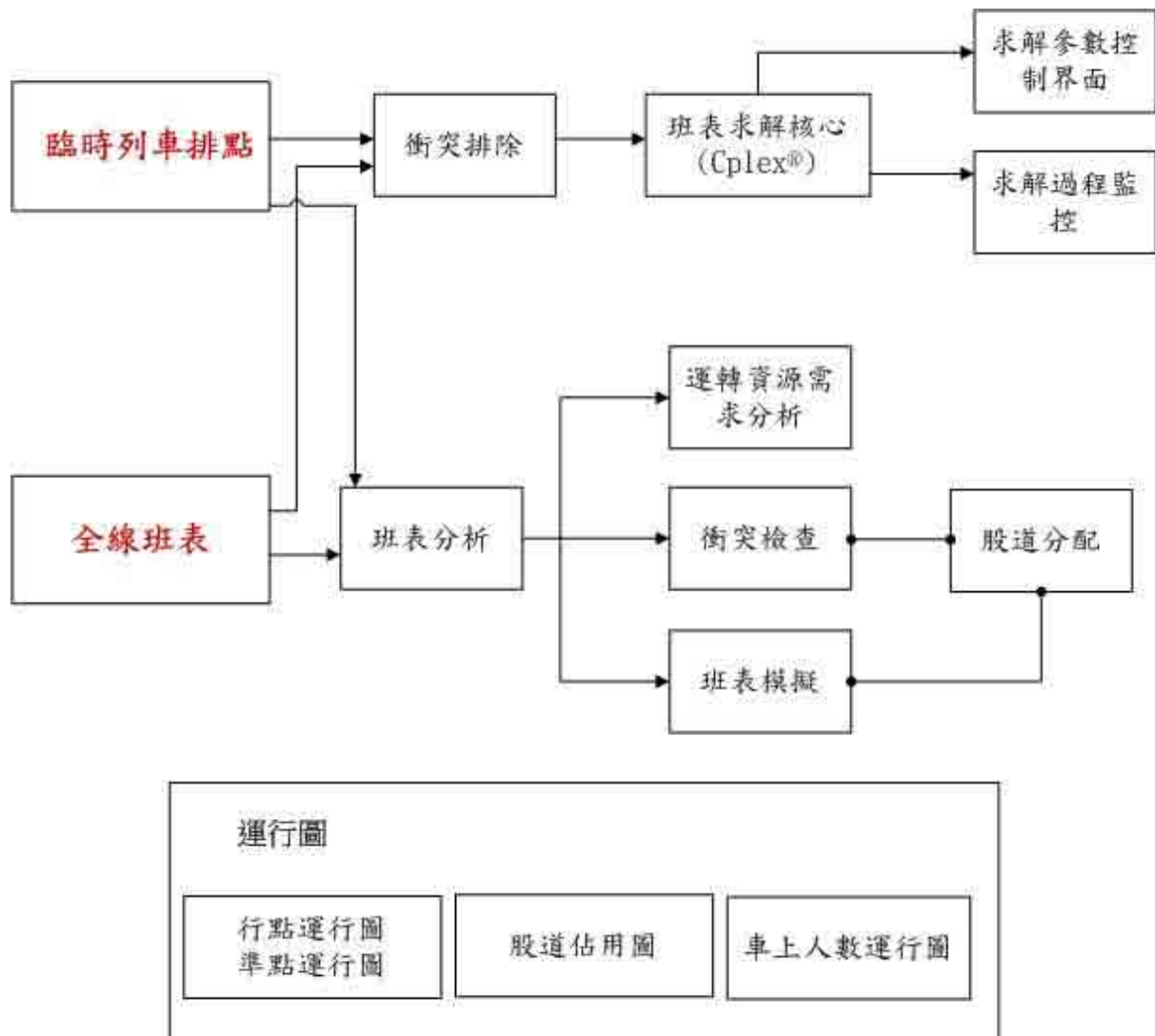


圖 4.3 自動化排點系統軟體模組

4.4 自動排點軟體模組時序圖

由於自動排點系統採取準雲端架構設計，各子系統均為獨立的軟體，並以符合雲端服務的方式呼叫與資料交換來達成任務，故前一節提到的各個子系統可以分別安裝在不同的機器上執行，以應用程式伺服器作為與前端排點系統應用程式互動的單一窗口，各子系統分別在私有雲的內部網路的各個節點上執行。過多的機器卻又會造成額外的通訊、資料交換負擔造成效能下降，考量系統分工與效能最佳化的設計之下，本研究將各個關連性較高的模組合併在同一臺機器上執行，以在效能、成本、穩定度上求得較為均衡的結果。自動化排點系統由六個部分組合而成，包含：前端應用程式、雲端應用程式伺服器、資源分配與排程、排點系統核心、RDSP 資料平臺、最佳化運算核心等，此六個部分的系統互動時序圖(sequence diagram)如圖 4.4 所表示。

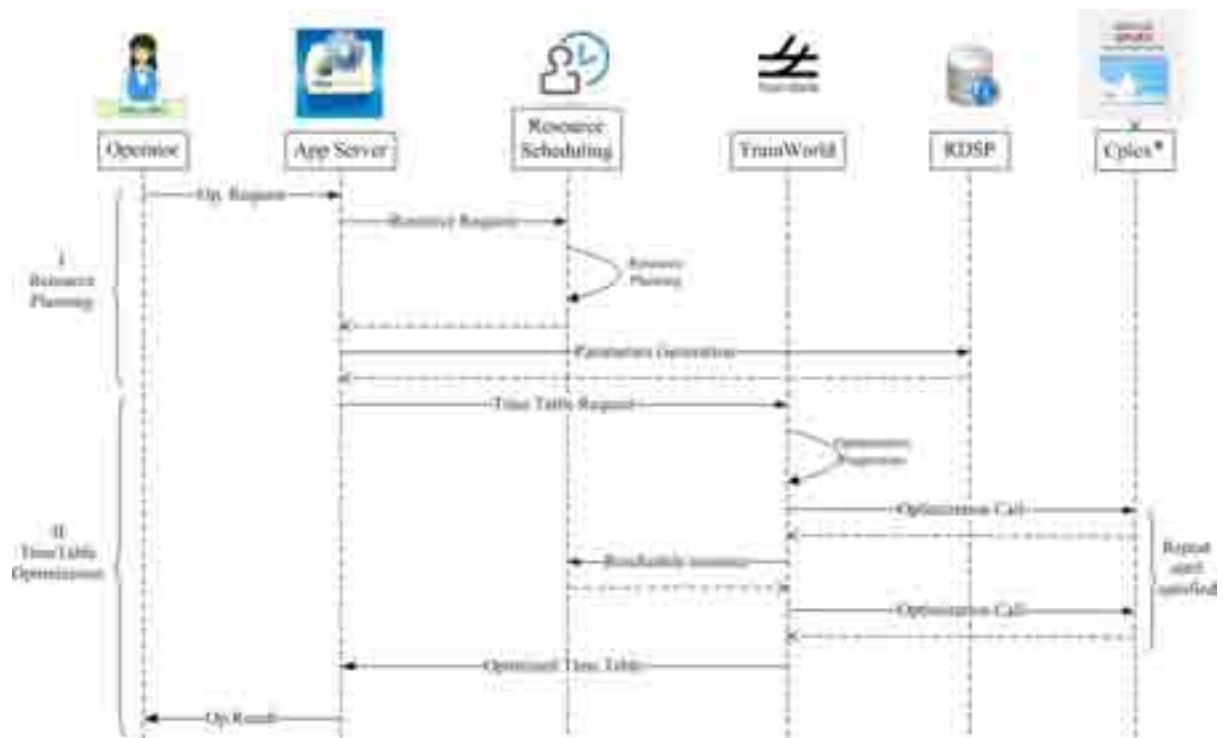


圖 4.4 自動化排點系統模組時序圖

自動化排點工作在進行時主要分成兩階段，資源評估與班表組合，兩階段中此六個系統的互動時序如圖 4.4 所述，六個系統的主要任務與組成簡述如下：

A. 前端排點系統應用程式：包裝了使用者圖型化介面與雲端系統介接介面，將「臨時列車排點」、「全線班表」、「運行圖」三個使用者案例包裝在一前端的應用程式中。

B. 應用程式伺服器：為自動化排點系統私有雲的雲端窗口，與前端的應用程式相互互動，也與私有雲內部的各個子系統互動，負責將前端的三大類使用者案例需求轉換成不同的流程呼叫，並負責將執行結果包裝成標準 XML 格式送回前端應用程式。

C. 資源分配與排程：包裝「運轉資源需求分析」、「股道分配」、「班表分析」等處理模組

D. 排點系統核心：包裝了「衝突檢查」、「衝突排除」、「班表模擬」、「班表穩定化」等

E. RDSP 資料平臺：存放各種軌道設施基本資料、動力車輛、基準運轉時分等基本資料，與各式班表、運行圖的原始資料，為本系統的核心資料平臺。

F. 最佳化運算核心：包裝了「班表求解核心(Cplex®)」、「求解參數控制介面」與「求解過程監控」等模組，提供班表排點最佳化過程中的參數設定、運算與監控等功能。

4.5 資料庫架構

本自動排點系統的資料庫系統係利用前期計畫設計的RDSP資料平臺^[22]，作為所有子系統與模組間之資料交換中心。RDSP資料庫平臺的架構如圖 4.5 所示，包含了設施基本資料、營運資料、歷史資料、與決策支援等四大類資料。平臺的本身還包含了「鐵路資料自動橋接系統」(Data Exchange System)、「新式設施座標點圖系統」(Railway GIS System)與「決策支援系統介面」。「鐵路資料自動橋接系統」為一自動化雙向的資料介接與拋轉的介面，負責介接收集外界資料源與現有外部應用系統資料，或是將RDSP內的資料關聯彙總後輸出以供應用系統使用；「新式設施座標點圖系統」則為因應鐵路系統特殊的需求而全新設計的一個鐵路設施座標定位系統，並且配合點圖程式，使得鐵路設施特殊的圖表上的設施可以透過此點圖程式數位化，輸入到資料庫裡便於統一管理；「決策支援系統介面」則提供了輸出系統資料與參數以提供決策支援系統進行後續運算的介面。

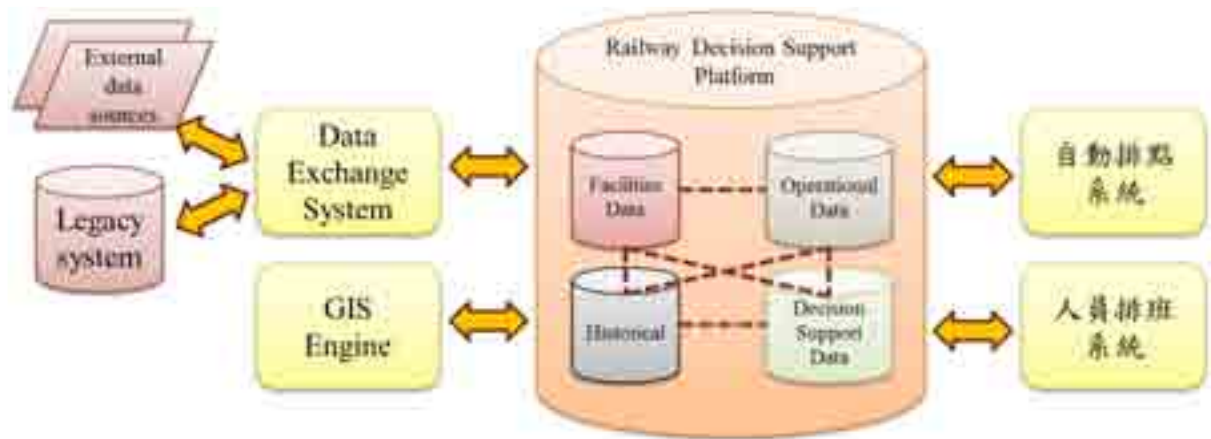


圖 4.5 RDSP 資料庫平臺架構圖

第五章 自動化排點系統功能

本章將由軟體之出發點，說明本系統之各種功能。至於各項功能之核心技術以及設計方式之論述，則已在前面章節說明之。

5.1 操作介面

對整個排點系統而言，使用者介面的功能在將操作人員之需求傳送到演算核心，並且將演算核心所提供之資訊呈現予使用者。在設計上，使用者介面與演算核心之間依據嚴謹定義之資訊交換協定來雙向傳輸資訊。因此任何軟體只要遵守這些協定，均能夠作為本系統之使用者介面之用。

為方便操作，系統之入口設計為一個簡單的介面，能以畫面上之按鈕啟動主要的七大功能：服務計畫、班表求解、臨時列車、衝突檢查、衝突排除、運行圖顯示、與班表管理。而這七項功能則各有其獨立之介面程式，各自依其功能設計，控制後端之核心程式。而各核心程式亦各自獨立，並以 RDSP 為共同中心。

在這些功能中，班表求解、臨時列車、衝突檢查、與衝突排除四項功能所需之電腦計算量甚大。一份臺鐵全系統班表中含有約 1000 列次之列車，而列車到、離站事件總數則遠超過三萬。這些功能所需要之運算均需要構建第二章所介紹之股道分配模式與行點模式。處理如此大規模之班表時，兩組模式均規模甚大，需要大量記憶空間。經測試，即便僅求解全線自強號（約 100 列次）之班表，即已超過一般桌上型個人電腦之能力。因此求解含有 1000 列次之全線班表，需要利用伺服器等級之電腦為之。

配合本軟體系統之整體設計，以及上述計算能力上之特殊需求，本系統將這些功能之使用者介面程式與求解核心完全分離，可在不同電腦上執行。兩者透過網路上共用之磁碟位置進行資訊交換。未來若臺鐵或其他使用者自行發展不同之使用者介面，只要遵循資訊交換協定亦可與求解核心界接。

在此種架構下，開始操作之前使用者之電腦必須先成功連上網際網路，並且能夠存取網路上某一特定位置之磁碟空間。此一空間將作為使用者介面程式與核心求解程式之共同空間。至於演算核心與 RDSP 則與使用者介面完全區隔。該共同空間可為某一網路磁碟機，或使用 RDSP 附掛之網路硬碟、或甚至 Dropbox、Google drive 等商用雲端硬碟均可。

5.2 服務計畫功能

本軟體之編排服務計畫功能並不在合約工作範圍中。然在與臺鐵實務人員訪談以及工作會議之討論中發現此一功能將對排點工作提供相當助益。因此本團隊將在可能的範圍內將本功能納入於軟體系統中，並與其他軟體相整合。

服務計畫之編排旨在依據乘客之需求，規劃在各種不同時段，各不同路段所

提供運輸服務的內容、質、及量。其主要內容為各車次之行程、使用車種、停站模式、理想發車時間等項目。這些內容將成為編定班表之最主要資訊。一份服務計畫之資料格式與班表類似，但因為編排服務計畫時並未考慮衝突之排除，因此其中可能含有多數瑕疵與衝突。

在服務計畫方面，本系統之主要功能設計為讀入使用者所提供之需求檔與樣板車次檔，並以數學模式求解最佳化之服務計畫。其中需求檔為純文字檔，其內容以車站列表與分時、分起迄對之需求量為主。而樣板車次檔則為 csv (comma separated values) 格式檔案。經過運算求解之後，程式將所得之服務計畫、配位建議、以及服務統計分別輸出成為三個不同之檔案，均為 csv 格式。由於服務計畫檔採用 csv 格式，因此可以利用套裝軟體 Excel® 強大之編輯功能進行對服務計畫之人工編修。不論是否編修，該檔案均可再利用本系統之班表管理功能匯入 RDSP 中。在匯入 RDSP 之後，使用者即可進行繪製運行圖、求解班表等後續處理。

5.3 班表求解功能

班表之求解為本系統中技術難度最高之一項功能。其主要任務是由一個給定，但是可能含有多數衝突之班表為輸入之理想班表，嘗試求解盡量接近理想班表之無衝突班表。全線班表之編排為臺鐵局重要業務之一，亦為營運系統核心作業之一。本系統將以本所「鐵路列車排程模式建立及運行資料分析校估之研究」^[4]所提出之核心技術為基礎。該技術已於先前研究中驗證確有能力求解臺鐵真實規模之班表，本研究將予以改良並實作成為本系統演算核心之一部份。有關核心技術已在第二章說明。

除了理想班表外，求解班表時亦需要甚多資訊，如各車站與各站間之股道佈設、進路、各種牽引種別在各站間兩方向之基準運轉時分等。在功能設計上，本系統由 RDSP 取得理想班表，而其他資訊亦來自 RDSP。使用者介面將僅作為控制、啟動、監視核心之用，而不作為資訊前處理、後處理、與呈現之用。所有前後處理以及求解結果之呈現將由其他程式為之，例如運行圖之顯示功能將由其他獨立之模組提供。

本功能所需之求解時間與所輸入之理想班表品質有關。以臺鐵每日運行約一千車次為例，在理想班表中即不含衝突之最有利之狀況下，本軟體可以快速辨識此種狀況，僅需約一至二小時即可完成所有求解。在理想班表含有為數眾多之各式衝突之最不利狀況下，求解時間約為 120 小時，亦即約 5 日。

5.4 臨時列車功能

臨時列車班表之編排，係以給定之背景班表為基準，於其中插入所需要之臨時列車。因此背景班表必須完整且不含衝突。目前臺鐵所使用之排點相關軟體雖具有簡單之分配股道功能，但其股道分配之成果是否完全保證無股道衝突，並不明確。因此本系統必須自行配備有正確分配股道之能力，方能與臺鐵局之排點軟體直接界接。前期研究所發展之核心技術^[3]已具備本項能力，但需要數小時之求

解時間。因此使用者需要事前先上載背景班表至求解系統，待股道分配完成後始能進行臨時列車之編排工作。雖然每一份背景班表之股道分配僅需進行一次，但仍對使用者帶來不便。為此本研究改善了股道分配演算法以及程式實作，以期加速此部份之求解過程。經測試可將上述分配股道以及臨時列車之求解總時間降低至半小時以內。

本項功能之目的為在給定的背景班表中排入臨時列次。由於背景班表多為已公告之班表，因此無法配合臨時列次而作修正。但在另一方面，在學理上，完全不容許變動背景班表之所有行點，將會限縮排入臨時列次之可用彈性。當背景班表之行車密度較高，或臨時列次本身亦有其限制時，甚至有可能完全無法排入。

以臺鐵系統之現況，系統中多數路段均負擔相當高的行車密度，尤其在北部區域，每日雙向列次數經常在 300 列次以上。其他路段亦相去不遠。在臨時列次方面，則常有各種不同之特殊需求，例如要求在某指定時間發車、要求在某些車站長時間停留、甚至要求自車次始發至末站收車之運行時間不得超過某長度等等。這些需求均對臨時列車之排點帶來相當之挑戰。

為此本軟體允許使用者以設定參數之方式控制允許因臨時列次之排入而影響背景班表既有列次行點之上限。例如，若此允許變動值參數設定為 0 則不允許軟體在排入臨時列次時調整背景班表之行點；若此允許變動值參數設定為 0.5，則允許軟體在排入臨時列次時，在 0.5 分鐘之幅度內調整背景班表之行點。

於軟體中納入配合臨時列次而調整背景班表行點之能力，並非建議修正已公告之班表。此種排點結果所產生之資訊，應視為是未來執行班表時調度策略之參考，亦可視為臨時列車對背景班表影響程度之評估。例如，設若在某背景班表中嘗試排入某臨時列次時，發現允許變動值設定為 0 即可成功排入，即表示本軟體所建議之臨時列次行點對其他車次不會產生影響。反之，若使用本軟體嘗試排入某臨時列次時，發現允許變動值必須設為 2.0 或更高方有可能排入該臨時列次，則表示實際執行班表時，將無法避免該臨時列次對其他列車產生影響，而影響量不會超過 2.0 分鐘。而軟體求解所得之班表，亦呈現該臨時列次於對個別車次在個別車站或站間之影響量。

在另一方面，訪談亦發現臺鐵在實務上常因外界之強力要求而必須以容錯方式排入臨時列次，再於實際執行班表時以運轉整理方式處理因而產生之晚點。在此所謂容錯方式，即為實務上所稱之「壓點」，亦即在班表中容許衝突，以求排入所欲插入之列次。配合此種實務之需求，本軟體亦建有容錯能力，提供使用者不同之選擇。安排臨時列次時，使用者可選擇「高品質」、「中品質」、或「低品質」。其中高品質者為完全不容錯，亦即求解結果不會含有衝突。而中品質則為允許軟體在不得已時，縮減臨時列次所需之時隔。若設定為低品質，則允許臨時列次與其他列次發生站間追越等更嚴重之第一型衝突。求解時，即便使用者設定為中品質或低品質，本軟體仍以最佳化之方法儘量避免時隔不足或發生衝突。唯有在不得已時，為求依臨時列次所設定之條件排入背景班表中，方有可能依所設品質而動用容錯功能。

除了這些介面程式外，本研究並就臨時列車排點之部份，實作另一種介面以供日後臺鐵局之電腦系統直接連接。臺鐵局目前所使用之排點相關系統已有良好之使用者人機介面，且實務人員已經習慣使用。然而該系統並無自動化之衝突排除功能，且在臨時列車之編排方面雖有良好之操作功能，但並無自動化之衝突偵

測功能，亦無法提供臨時列車之行點方案建議。使用時係全部依賴人工作業以決定行點，再以人工依其經驗發現並排除衝突。

配合此種狀況，本研究規劃在臨時列車編排方面設計並實作一套檔案界接方式，亦即由排點人員利用臺鐵局現有之相關系統初步決定臨時列車之理想發車時分，再將背景班表以及所擬排入之臨時列車需求，連同相關參數以 XML 格式之檔案，傳到網路上之遠端位置。在系統後端，持續監看該遠端位置之系統發現上傳之檔案後即自動下載、解讀，並啟動臨時列車班表求解模組。待求解完成後，再將求解結果同樣以 XML 格式回傳到相同之網路位置中，由臺鐵局之系統取回。目前臺鐵局所使用之排點系統，在排點人員進行臨時列車排點之工作過程中已擁有充份之資訊，足以配合前述界接方式。未來僅需要對程式略作加強，使得使用者能夠以方便之方式令該程式整理所需之資訊、輸出成為指定格式之檔案、傳送到網路位置、於求解完成後取回、再解析所取回之班表並納入自身系統中。

本系統提供臺鐵局在線上進行臨時班表排點之功能。由於安排臨時列車時，其背景班表必為尚未執行之未來班表，因此本模組在設計上，需要由臺鐵局之使用者上傳所欲使用之背景班表，同時上傳所欲排入臨時列車之基本資料，包括車次編號、所使用之牽引種別、理想發車時分、擬停靠之各站及其最小停站時間等。上述資料以標準之 XML 格式傳入預先設定之網路位置後，本系統之監看程式即自動啟動，並以「高品質」及「低品質」兩種模式自動求解之。以一般測試經驗，絕大多數狀況下，總共之求解時間均在 20 至 30 分鐘以內。在求解完成之後，系統會將臨時列車之行點，以相同之 XML 格式存檔於相同的網路空間中，再由臺鐵局相關系統下載並匯入之。

5.5 衝突檢查功能

本項功能之目的在檢查一份給定的班表，並識別其中所含有之各種瑕疵。其中主要之檢查項目說明如下。

站間運行時分過長或不足：此項功能將班表行點與基準運轉時分相比較，並識別其中不合規定者。在實務上，由於列車間之互制，以及寬裕量之考量，班表排定列車在站間運行之時分不一定與基準運轉時分完全一致。為了避免誤報，本功能設有容許誤差之機制，亦即所有站間之表定運轉時分若在基準運轉時分之 1.0 至 1.5 倍之間則認為合格。若超出此一範圍則產生衝突警示。未來上線時，此一誤差容許量可以視需要，很容易調整之。

站內停靠時分過長或不足：列車在每一有停靠之車站，其停靠時分應介於 0.5 分至 8 分之間。此一預設值之設定係考量臺鐵目前所有車輛型中，旅客上下車時間最短者為區間車，但其停站時間亦不應小於 0.5 分鐘。在另一方面，列車若在副正線待避等候其他車次追越，則通常所需之待避時間至少為 6 分鐘。故略予放寬而以 8 分鐘作為預設之警示標準。未來若臺鐵局對本項時分有不同之標準，亦可修正程式所使用之標準值。

前後列車時隔不足：接續行經同一車站之前後車次之間，在班表中應有充足之時隔。

列車站間衝突：班表在單線區間之站間安排列車在站間追越，或在站間交會。

站內股道衝突：二列列車在同一時間使用同一站內股道。由於本系統自動解出之班表不可能含有此型衝突，而臺鐵局所匯出之班表又不含站內股道分配資訊，因此本項衝突將僅檢查班表是否安排列車在僅有單一股道之車站進行追越或交會。

完成衝突檢查後，程式將以標準 **xml** 格式輸出衝突檔。該檔案將可供其他程式取用，亦可利用本系統之運行圖顯示功能，將衝突標示於運行圖中。有關運行圖顯示功能將於後續小節說明之。

5.6 衝突排除功能

如第二章所說明，在軟體功能之定位上，此一演算核心定位在排除第二、三、四型之衝突，亦即有可能以調整行點之方式排除之衝突。至於必須調整股道分配或行經股道之順序方有可能排除之第一型衝突，則建議以班表求解之功能為之。須要注意的是第、三、四型之衝突雖有可能以調整行點之方式排除之，但並非必然能夠達成。有時有些這些型之衝突仍然必須對列車行經股道之順序作部份調整方能排除之。

使用者操作時，使用者需要指定 **RDSP** 中之一份班表，並設定容許班表修正之授權範圍，再啟動演算核心以執行衝突排除。在班表修正之後再匯回 **RDSP** 中。軟體系統則在授權範圍內調整班表之行點，以盡量去除班表中之衝突。例如，若授權範圍為 1.5 分鐘，則修正前與修正後兩份班表相比較時，所有車次在所有車站之到離時分將相差不超過 1.5 分鐘。

受到上述授權範圍之限制、班表中錯綜複雜的列車互制關係之影響，以及可能存在的第一型衝突，本功能僅能在可能的範圍內儘量排除所發現的衝突。若使用者發現經過本功能之處理而班表中仍有衝突存在，則應利用求解班表之功能作最終之處理。

5.7 運行圖顯示功能

本系統以排點作業為核心，而運行圖則為呈現班表之重要方式之一。雖然運行圖之呈現與演算核心求解班表之過程並無直接或必要之關係，但操作人員在使用本軟體系統時，運行圖之顯示為必備功能之一。在功能設計上，本項功能在由 **RDSP** 取得使用者所指定之班表，並以圖形方式顯示之。其顯示之方式係以時間軸為橫軸，以空間軸為縱軸。這種方式與臺鐵與日本之習慣相同，與歐洲通用之習慣相反。

除了基本的運行圖顯示功能外，本軟體並預留了數個未來持續擴充功能的機制。其中顯示 **ATP** 紀錄之預留機制可供使用者查詢過去行車狀況。該功能將使軟體自 **RDSP** 中撈取 **ATP** 之到站與離站時分紀錄，並將 **ATP** 所紀錄之到開時分與班表所排定之行點作資料融合，以色彩呈現準點狀況。未來若能由臺鐵局界接

ATP 之行車紀錄檔並作適當之後處理，本功能將可方便使用者瞭解過去之真實準點紀錄。此外，程式中亦預留以運行圖線條色彩顯示車上人數之功能。未來若 RDSP 與臺鐵局界接匯入售票紀錄，本項能力將有助營運狀況之分析。

若將一份班表事先以前述衝突檢查功能檢查其中所可能含有之衝突，則如前所說明程式將產生一 xml 格式之衝突檔。此時本運行圖顯示功能則可以疊合衝突檔之資訊與班表行點資訊，一併圖示於運行圖中。

5.8 班表管理功能

本軟體系統之所有功能均與班表相關，而在執行各種功能時，所有班表均取自 RDSP。而部份功能所產生之運算成果亦為班表，例如排除衝突之後產生新班表、班表求解功能亦在運算之後產生新班表。這些新產生之班表亦均匯入 RDSP 中。因此軟體系統在操作上需要有班表管理之功能。

本軟體之班表管理功能提供了多項能力。除了將班表匯入 RDSP 之基本功能外，並允許使用者將 RDSP 中之班表以不同之格式匯出成為檔案。對於不再使用之班表，亦提供方便使用之刪除功能，允許使用者在一次操作中成批刪除多數班表。

在實務工作上，有時需要自一份完整，涵蓋臺鐵全線之班表中擷取部份路段之班表以進行後續分析。例如，假設某項工作之目的在評估臺南站若由目前之一島一岸壁月臺，改建為兩島四股型式，對列車運行之整體影響如何。則可在更新臺南站之股道佈設資料後，再利用班表求解功能重新求解班表，再比較新班表與原班表之差異。如欲評估改建後鐵路行車能力之變化，亦可在原班表中依操作人員之構想，嘗試加入新增列次。由於求解一份班表可能耗時數小時甚至數日，上述分析工作可能費時甚久。此時較快速簡易之評估方式可能為自臺鐵真實班表中擷取嘉義至高雄路段之車次，先以較小之區段初步評估比較各種方案構想，再擇優以全線班表作進一步分析。

為了此類自存放於 RDSP 之班表中擷取部份路段並製作成為新班表之需求，本項功能允許使用者利用由 RDSP 中匯出成為 csv 格式檔案之完整班表，在 Excel® 環境下刪除不需要之路段後用作樣板。之後由本軟體自 RDSP 中撈取指定之班表，並依樣板中之路段擷取資訊，再以相同之 csv 格式輸出成為另一檔案。該檔案可供本軟體其他功能使用，亦可再次匯入 RDSP 中成為新的班表。

為方便使用者之操作，本項功能亦具有運轉資源需求評估之能力。鐵路系統營運時所需要之最主要資源有司機員與列車長等乘務人員、組成列車之動力車輛與客車、以及路線容量。編排服務計畫與班表時，常需要在工作的過程中估計其所排的方案在未來上線執行時可能需要的各項資源，以維持方案的可行性。為此，本系統納入此一資源評估之功能。

精準估算一份班表所需要乘務人員人數之唯一方法是依據該班表之機班以及車班之工作班相關資訊以統計之。然而這些工作班之自動化排定並非本研究之範圍，而自動化技術亦無可資利用之其他成果可以參考使用，以人工編排亦不切實際。在實務上，現行臺鐵在此方面之工作方式幾乎全為人工作業，並無適當之

資料庫可資界接。因此本系統使用歷史概估之方法，亦即由給定之班表方案統計所有車次之總載客行駛時數，再由歷史資料之每名機班人員平均每日所負擔之載客行駛時數，即可換算該班表所需機班人力數量。雖然實際上機班人員並非全年無休，而每工作班之駕駛勤務亦非僅有載客車次，但在同一基準下予以換算，所得到之人力需求預估應亦有參考價值。而依經驗，車班人力之需求約為機班人力之 0.6 倍，亦可用以估計給定班表對車班人力之需求。

在車輛資源需求預估方面亦類似於機班與車班人力資源之預估；精準估算之唯一方法為依據該班表之編組運用計畫以及機車運用計畫，精密計算之。然而這些運用計畫編訂工作之自動化亦非本研究之範圍，自動化核心技術亦無先前成果可資利用。因此本系統亦將在分車種統計所給定之方案中所有車種之行駛總里程後，依經驗值估計各車種所可能需要之車輛數。然而 EMU 電聯車或 DMU 柴聯車於各車次所聯掛之車輛組數可能不一，動力集中式之莒光號等車次所掛之客車數亦不全然相同。且車輛編組運用又受到維修里程、車輛基地停留線股道數、各級清掃所需時間、基地維修作業時段、甚至加油線容量等諸多限制。因此利用此一方法估計所需之車輛數必不精準。然而在更佳、更自動化之方法問世之前此一方法不失為簡單而有參考價值之作法。

在路線容量資源之預估方面，精準之作法應以班表為本^[5]。然而在工作階段並無精準之班表可資分析。因此本系統將依據給定之方案，統計在所有站間，兩方向運行之總車次數，以作為該方案在各站間路線容量資源需求量之估計參考。雖然如此估計並不精準，但其基本精神與傳統路線容量估計方法^[23]接近，亦可作為方案研擬時之參考。

5.9 績效驗證

本節以臺鐵 102 年 4 月 2 日之真實班表作為理想班表，利用本系統求解全線班表以驗證其求解效能。操作過程為取臺鐵真實班表，先匯入 RDSP 中。之後利用本系統之班表求解功能以求解全線班表。求解過程約歷時 45 小時，求解結果之西幹線運行圖示於圖 5.1，東幹線運行圖示於圖 5.2。此為本所歷年來首次於研究成果報告中具體呈現臺鐵全線班表求解結果。

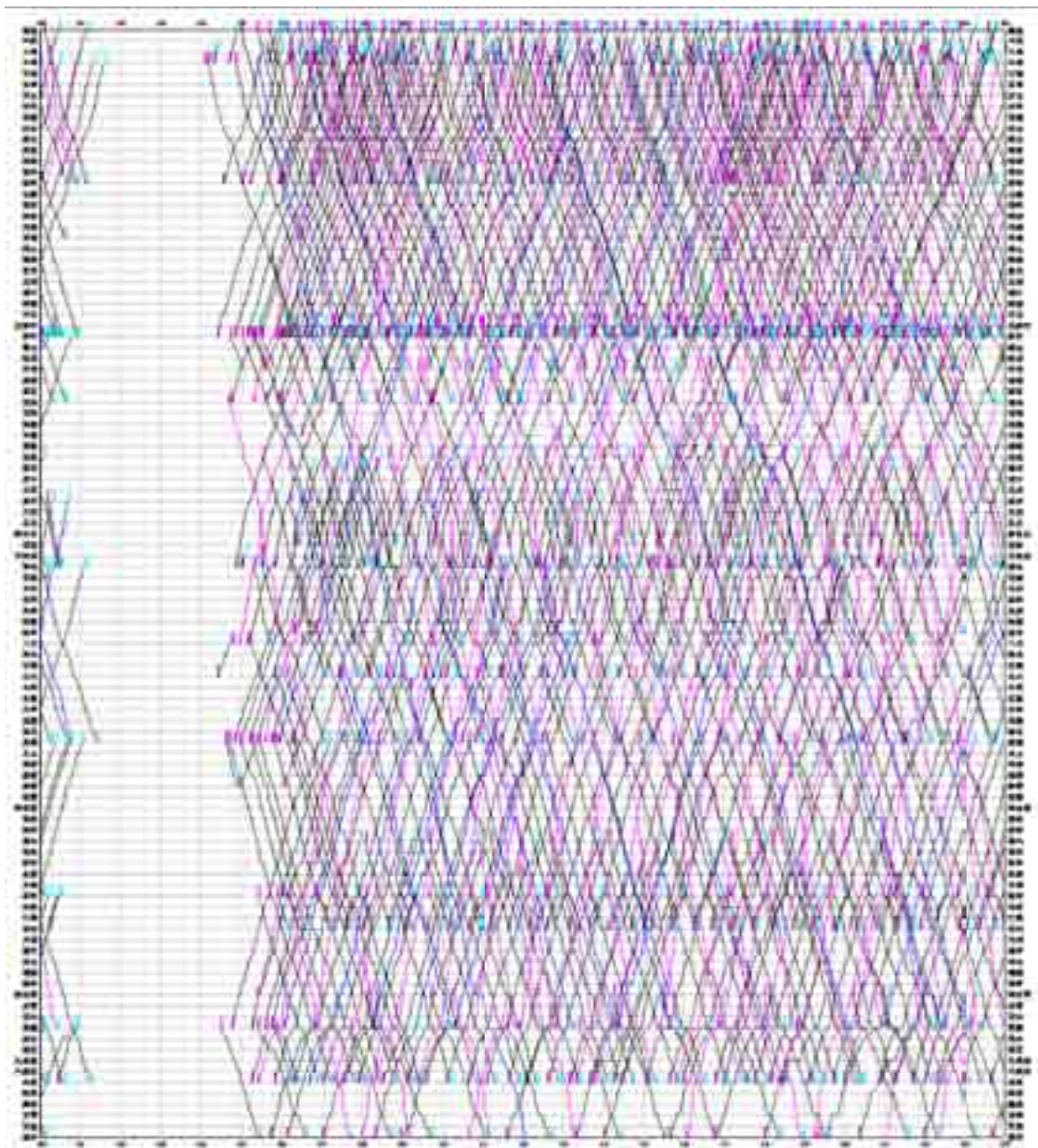


圖 5.1 102 年 4 月 2 日班表西幹線運行圖

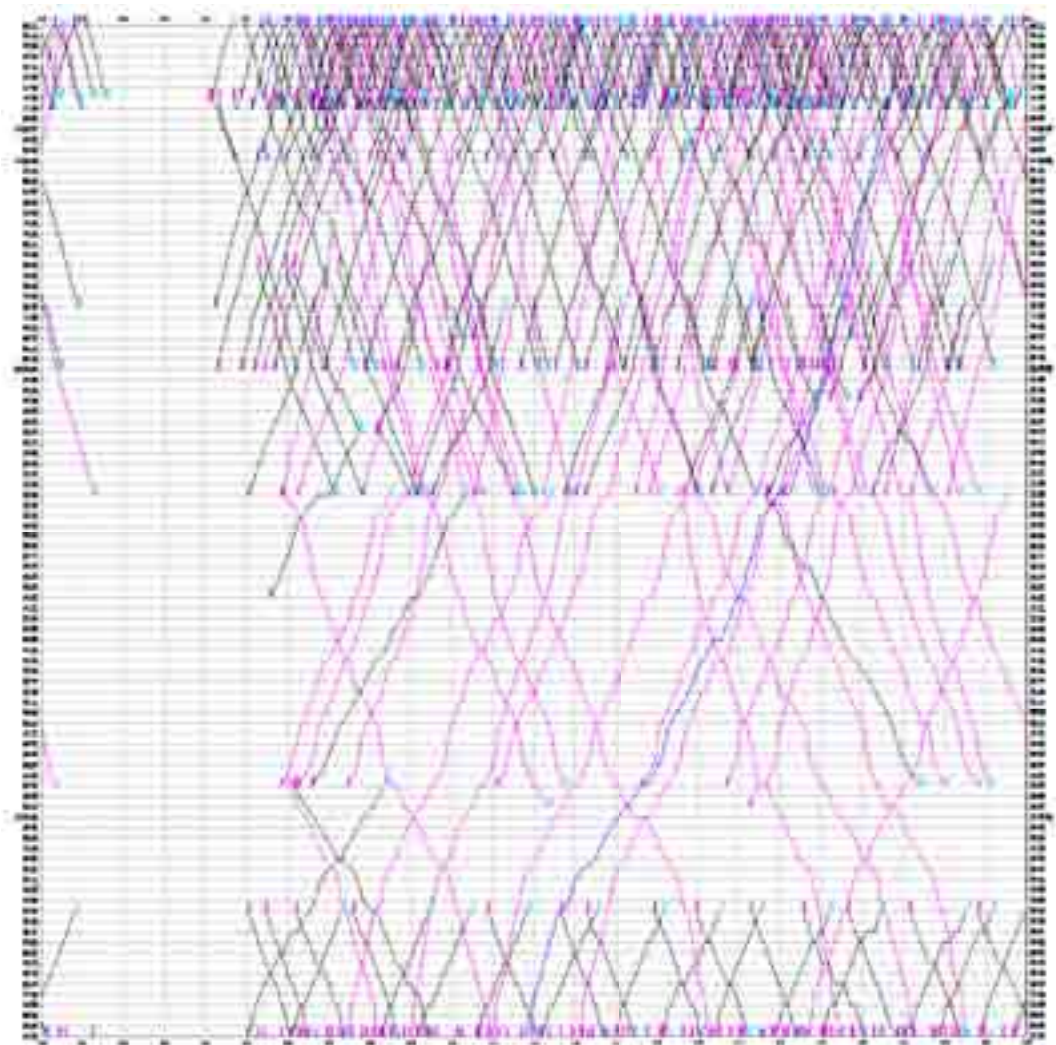


圖 5.2 102 年 4 月 2 日班表東幹線運行圖

第六章 自動化排點系統之實務應用

一個功能強大的自動化排點系統有很重要的實務應用。對臺鐵局等鐵路營運單位而言，排點及其相關業務佔有相當重要之地位，而所耗費之人力資源亦相當可觀。對鐵路改建工程局等鐵路規劃設計施工單位而言，自動化的排點系統可作為方案評估之重要工具。本章將就此二方面分別論述自動化排點系統之實務應用。

6.1 排點輔助

排點為一高專業性而工作量甚大之業務。臺鐵局經過數十年之努力，排點相關工作大致上均達到電腦化之境界，然而最核心之行點排定、衝突檢查、交會待避點之選擇等決策仍以人工作業為主。在人力精減、專業人員養成不易、外界期待日益升高、變化腳步加快的現實環境下，排點工作之自動化有其不得不然的壓力。

鐵路系統之日常營運中，除了定期或不定期之改點時需要進行排點作業外，其他並有不少業務與排點有直接或間接之關係，如：

- 1.臨時列車排點：**在既定班表中加入專開列車、節日加開、試運轉等臨時列車。雖然與定期列車相較，臨時列車之數量比例不高，但因為安排臨時列車而耗費之人力卻相當可觀。
- 2.路線慢行或封鎖因應及影響評估：**鐵路路軌常因各種例行或突發需求而辦理路線慢行或封鎖。路線慢行時將影響行經該路段車次之運轉時分，而封鎖時則影響行車可運用之股道。目前實務上之作法均是在有慢行或封鎖之需求時，由運務人員依其經驗評估判斷該慢行或封鎖之影響，以及研擬預為因應之策略與方法。這些評估與對策研擬均有可能由自動排點系統提供有用之輔助，以縮短工作時間、降低人員工作量、降低對經驗豐富人員之依賴，並提高工作品質。
- 3.軌道設施變動因應及影響評估：**看似百年不變的鐵道，實際上持續不斷蛻變。車站月臺之改建、號誌之移位、股道佈設之更動，其影響最終均顯現於班表中。過去者如山線之改線，正在進行之臺中、高雄、屏東之鐵路改建，以及未來之諸多鐵路工程，均造成軌道設施之變更。而施工中常有臨時軌之切換，亦有其影響。臺鐵局運務人員常需配合這些變動而調整其班表，以維持運轉之準點及效率。
- 4.車隊調整因應及影響評估：**新車引進與舊車汰換為鐵路系統常態作業的一部份。而臺鐵局亦為因應內外環境之變化，亦不定期調整各型車輛運用之區間，以及車輛配置基地。此類之變動將影響各車輛基地支援各型車輛發車能力之消長，從而產生調整班表之需求。
- 5.事故因應：**鐵路系統長期運轉，無法完全避免天然災害、意外事件、或車輛故障等不可掌握事故之發生。**當事故發生時**，營運單位常需在短時間內調整班表、人員運用計畫、車輛運用計畫及其他計畫以為因應。甚至需要快速擬定車次截

短行駛、取消、加開、或延駛等較大幅度之變動。目前這些因應方案之評估與決策均幾全仰賴人力為之，固然有其優點，但若能有電腦系統提供決策輔助與策略評估，則必有相當之助益。欲達到此種決策輔助之境界，需要甚多之配合條件，並非本研究之成果所能達成。然而可以預期未來此種輔助系統必以自動排點系統為其主要技術核心。

在以上各項業務中，除最後一項具有即時快速反應之需求需要其他配合條件外，其餘均在本研究所發展軟體系統之能力範圍內。

6.2 鐵路投資方案評估

鐵路系統需要長期而持續的演進、調整、與進步，以維持其提供適時、適質、與適量運輸服務之能力。例如臺鐵系統在較早的過去完成了北迴線、南迴線、山線改建、鐵路電氣化等重大工程，在最近數年中並完成了沙崙線、內灣線等工程。而正在進行中者有捷運化之營運型態轉型、兩款共 432 輛新車之引進上線運轉、臺中、臺南、高雄、屏東鐵路立體化、花東線電氣化、月美站廢站、十餘座車站之新設等。而在未來，只要鐵路系統繼續營運，其演進仍將持續進行。

在這些調整與改變的過程中，常需審慎分析、評估比較各種不同方案之特性與優劣。而鐵路系統存在的目的在經由運轉而提供運輸服務。因此進行方案分析時必須考慮各方案支持運轉之能力。例如，若欲於都會區增設車站，則不僅需要評估車站的增加、站距的縮短對個別單一車次之影響，更應具體評估這些變化對未來班表之整體影響。而支線之建設，亦需考慮未來支線列車之起迄點、車輛基地、支線列次與本線列次之搭配等因素，從而評估分岔站及其他車站之股道佈設，是否適以支持該支線之運轉型態。而研擬購車計畫時，亦應配合需求之預估，研擬適當之服務計畫，從而評估所考慮之車種、數量是否適以提供貼近未來需求之運力。

鐵路列車受制於軌道其運行完全受制於軌道，並受號誌系統之管制。鐵路列車之追越、待避、停車、啟動、折返等運轉操作均在完全管制下進行，亦受到硬體設施之完全制約。這些性質使得鐵路與公路之運轉基本性質相去甚遠。在公路系統中，車輛運行時之各種超車、加速、減速、交織等操作均由駕駛人自行決定，而整體系統在車流理論架構下運作。由於鐵路系統中，硬體設施對車輛運行之完全管制，因此重大鐵路投資方案必須就未來之可能運轉狀況作縝密之評估。

然而目前國內各種鐵路相關重大投資雖均經過縝密之評估程序，惟其分析大都以工程面為主，對上述運轉面之評估相對不足。本研究所建立之軟體雛型，正提供了運轉分析之大部份功能。以車站之增設為例，現況之規劃常止於尖峰與離峰小時各通行若干對號列車、若干區間車等等。利用本系統，規劃者則可以將其構想編輯成為理想班表之後，具體求解無衝突班表，以驗證其構想是否確實可行。同時亦可以發現並修正其構想不足之處。有不同之替選方案時，亦可以具體比較不同方案在支援運轉方面之能力。

本軟體所提供之功能亦可應用於營運策略方面之方案評估。以目前常被論及之臺鐵車種簡化為例，常有論者主張未來臺鐵系統之車種應簡化為自強號與區間車兩種。然而深入之具體分析與評估卻不多見。對此，本軟體之能力足以供相

關人員在僅有二種車種之條件下排出班表，據以具體評量在該狀況下系統所能提供之運輸服務。至於較短期的運轉調整，例如自強號增停、減停、延駛等需求，均可利用類似之方式具體評估其在運轉上所帶來之影響，作為評估與決策之參考。

本系統所提供之服務計畫功能亦對先期規劃有所助益。前瞻性之規劃常需考慮二十、三十年後之運輸需求型態，而本項功能則有助規劃者研擬貼近其預估需求之服務計畫。而其他功能則可利用服務計畫產生具體之未來班表，對運輸規劃應有相當之助益。

整體而言，本系統提供了一套有用之工具，幫助分析者在各種不同假設情境以及各種方案下預見未來可能之班表，從而評估比較各種方案所能提供之運轉能力。

第七章 結論與建議

本計畫以多年系列研究成果為基礎，實作成為鐵路列車自動化排點系統雛型，作為未來上線使用之基礎。本章歸納本研究之結論，並提出後續系統未來發展方向。

7.1 結論

- 1.本研究已整合 RDSP 完成自動排點系統雛型：**包括列車衝突自動偵測及求解排除及其他多項功能，軟體並均配置人機操作介面，以方便使用者操作。此系統具有臺鐵全系統排點能力，並能在真實班表中全自動加入臨時列車。除供列車排點作業實務應用外，並可作為鐵路投資方案評估工具。以此為基礎，未來將可依臺鐵作業習慣與需求，界接融入臺鐵作業體系中。本研究中亦選擇臨時列車求解功能，提供與臺鐵現有系統直接界接功能作為初步之嘗試，以測試未來可能遭遇障礙與困難，作為未來後續發展重要參考。
- 2.列車自動排點系統可作為臺鐵營運系統發展之核心：**列車自動排點系統之建置，除使長期發展之自動排點技術得以落實於實務作業面，降低臺鐵局相關單位於常態性排點工作上之人力負荷，進一步發展整體營運系統化之開端，如面對外界針對列車增停、延駛、加開等要求，可藉由系統之上線，以快速、具體、且不耗費大量人力之方式評估各種要求對運轉之可能影響，回應旅客需求並提升營運效率。

7.2 建議

1.建議應接續推動實務應用之系統建置

本研究將多年持續發展之各項技術整合成為功能完整之雛型系統，已確認應用於鐵路列車排點工作自動化之技術可行性。在此基礎上，可接續推動實務應用之系統建置，發展列車自動排點技術及軟體系統，提供臺鐵局上線使用。為達此目標，提出幾點系統建置之方向與注意事項：

- (1) 與臺鐵現有軟體之無縫界接：鐵路排點作業複雜，臺鐵局已完成多組輔助軟體上線使用中，如繪製符合多年使用習慣之運行圖、編排時刻表、產製站別時刻表、製作/發佈/管理行車電報等功能，未來自動排點系統應注意與所有現行軟體無縫界接，降低使用者困擾。
- (2) 考量並融入臺鐵現有作業模式：臺鐵系統經過多年運轉，已形成固定之作業模式，這些作業模式其形成多有各自因素。因此未來自動排點系統須融入臺鐵現有作業模式中，方能達到作業輔助之效。
- (3) 持續強化人機介面友善性：本系統可應用於鐵路列車自動化排點及鐵路投資方案評估等方面，各項應用均需要完備之人機介面，方能提供操作人員使用而發揮決策輔助功能。需求不同，其所需介面亦不相同。如在鐵路列車自動

排點應用上，需要方便而精準操控每一車次能力，重點在取得可行之班表。而在鐵路投資方案評估方面，則需要能夠方便規劃鐵路路線方案、股道佈設方案、營運計畫之求解編修及運能評估等。

- (4) 班表求解核心技術應持續突破精進：目前班表求解核心技術可達到求解臺鐵全線班表之水準。若未來自動化排點成為臺鐵常態，則必然隨工作品質之提升而產生更精緻化需求。此時所需不只是更高的核心運算能力，亦可能產生更新程式架構需求。此類修正與強化，為軟體成熟化過程中不可或缺的過程。
- (5) 資料平臺應持續更新維護：本研究發展之軟體係以 RDSP 為中心，隨著軟體之擴充，RDSP 亦需要隨之持續發展，方能繼續保持其決策輔助之效能。未來自動排點系統上線運轉後，資料庫架構之更新以及資料內容之檢核應持續維護。

2.建議可進行列車自動排點技術於軌道系統政策面之應用研究

如第六章所述，鐵路投資方案評估為本系統重要實務應用之一。與營運單位之排點輔助不同，方案評估著重於整體性之分析，排點輔助則著重於成果之精準度。兩者雖然使用相同核心技術，但所需之軟體功能並不全然相同。例如對臺鐵運務單位而言，排點過程中少有地圖套疊需求。然應用於大區域鐵路網規劃方案之運轉評估，則可能需要將分析成果套疊顯示於背景地圖中。故欲使本項技術發展成為投資方案評估輔助系統，則尚需深入瞭解使用單位之作業需求，建議可進行列車自動排點技術於軌道系統政策面之應用研究。

3.建議應持續推動臺鐵營運系統化工作

鐵路系統運轉需要耗費各種資源，在諸多資源種類中，最主要者為人、車、路三項。本研究主軸為列車自動排點，由運轉資源運用計畫角度觀之，班表實為路(軌道)之運用計畫。列車排點工作與乘務人員運用計畫以及車輛編組運用計畫之研擬是密不可分的，實務上這些計畫研擬雖分散在不同單位，但在工作過程中亦需要密切之聯繫與協調。因此，擴充列車自動化排點功能，進一步發展乘務人員、車輛編組運用計畫之自動化，為臺鐵營運系統推動之重要方向。此外，包括班表分析、運輸能力評估等均為後續可逐步推動之項目。

為未來另一項應發展之軟體功能。準點率為任何鐵路系統之重要指標，而班表對準點率有相當重要之影響。鐵路系統在運轉時不可避免必受到內在或外在之隨機擾動影響。若軟體系統能在班表上線運轉之前即評估其在擾動下之回復力，甚至辨識其中回復力不足之弱點，或進一步自動調整班表行點以增加其回復力，將對系統準點率產生正面貢獻。在另一方面，班表分析亦可統計各種車次間距、系統對各種起迄對之分時運輸能力等各種指標，作為不同版本班表間評估比較之參考。

運輸能力之評估亦為對實務運用具有重要影響之軟體功能。以本研究之服務計畫核心技術為基礎，可在未來使軟體能夠評估一份班表所能提供之最大客運能力。此一功能對於鐵路系統在研擬春節、中秋節等重大節日疏運計畫時將具有相當之參考價值。

參考文獻

- [1] 鍾志成, 李治綱, 李宇欣, 盧麗嵩, 張仕龍, 張恩輔, 曾志煌, 賴威伸, 臺鐵車輛排程最適化之研究, 2006, 交通部運輸研究所.
- [2] 張恩輔, 鍾志成, 盧麗嵩, 張仕龍, 林志偉, 林蓁, 黃笙玹, 林永青, 謝銘智, 陳一昌, 許書耕, 許修豪, 鐵路列車排程參數蒐整建置及架構分析之研究, 2011, 交通部運輸研究所.
- [3] 陳一昌, 許書耕, 許修豪, 李宇欣, 陳春益, 余秀梅, 李衍儒, 楊承道, 盧立昕, 楊峻武, 吳美玲, 王彥傑, 蔡欣恬, 臺鐵包車營運需求下列車班表之研究, 2011, 交通部運輸研究所.
- [4] 陳一昌, 許書耕, 許修豪, 陳春益, 林東盈, 李威勳, 楊承道, 李宇欣, 鐵路列車排程模式建立及運行資料分析校估之研究, 2012, 交通部運輸研究所.
- [5] UIC leaflet 406, Capacity2004, France: UIC International Union of Railways.
- [6] Assad, A.A., Modelling of rail networks: Toward a routing/makeup model. Transportation Research Part B, 1980. 14(1-2): p. 101-114.
- [7] Nagarajan, V., Ranade A.G., Exact train pathing. Journal of Scheduling, 2008. 11(4): p. 279-297.
- [8] Liu, S.Q., Kozan E., Scheduling trains as a blocking parallel-machine job shop scheduling problem. Computers & Operations Research, 2009. 36(10): p. 2840-2852.
- [9] Jütte, S., Thonemann U.W., Divide-and-price: A decomposition algorithm for solving large railway crew scheduling problems. European Journal of Operational Research, 2012. 219(2): p. 214-223.
- [10] Jamili, A., Shafia M.A., Sadjadi S.J., Tavakkoli-Moghaddam R., Solving a periodic single-track train timetabling problem by an efficient hybrid algorithm. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2012. 25(4): p. 793-800.
- [11] Ho, T.K., Tsang C.W., Ip K.H., Kwan K.S., Train service timetabling in railway open markets by particle swarm optimisation. Expert Systems With Applications, 2012. 39(1): p. 861-868.
- [12] Shiau, D.-F., A hybrid particle swarm optimization for a university course scheduling problem with flexible preferences. Expert Systems With Applications, 2011. 38(1): p. 235-248.
- [13] Chung, J.W., Oh S.M., Choi I.C., A hybrid genetic algorithm for train sequencing in the Korean railway. Omega, 2009. 37(3): p. 555-565.

- [14] Zhao, F., Zeng X., Optimization of transit route network, vehicle headways and timetables for large-scale transit networks. *European Journal of Operational Research*, 2008. 186(2): p. 841-855.
- [15] Lindner, T., Zimmermann U.T., Cost optimal periodic train scheduling. *Mathematical Methods of Operations Research*, 2005. 62(2): p. 281-295.
- [16] Zhou, X., Zhong M., Single-track train timetabling with guaranteed optimality: Branch-and-bound algorithms with enhanced lower bounds. *Transportation Research Part B*, 2007. 41(3): p. 320-341.
- [17] Caprara, A., Fischetti M., Toth P., Modeling and solving the train timetabling problem. *Operations Research*, 2002. 50(5): p. 851-861+916.
- [18] Caprara, A., Monaci M., Toth P., Guida P.L., A Lagrangian heuristic algorithm for a real-world train timetabling problem. *Discrete Applied Mathematics*, 2006. 154(5 SPEC. ISS.): p. 738-753.
- [19] Burdett, R.L., Kozan E., Techniques for inserting additional trains into existing timetables. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2009. 43(8-9): p. 821-836.
- [20] Cacchiani, V., Caprara A., Toth P., Scheduling extra freight trains on railway networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2010. 44(2): p. 215-231.
- [21] Lee, Y., Chen C.-Y., A heuristic for the train pathing and timetabling problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2009. 43(8-9): p. 837-851.
- [22] 陳一昌, 許書耕, 鄔德傳, 陳春益, 李宇欣, 李威勳, 林東盈, 蘇國瑋, 顏利憲, 鐵路系統設施基本資料庫建置之擴充, 2012, 交通部運輸研究所.
- [23] 鍾志成, 李治綱, 盧麗嵩, 張仕龍, 張恩輔, 孫千山, 黃笙玹, 林國顯, 蘇振維, 劉昭榮, 運輸系統容量分析暨應用研究-軌道系統(1/4), 2007, 交通部運輸研究所.

附錄A 期中審查意見及辦理情形

交通部運輸研究所 ☒ 合作研究計畫第 2 類 ☐ 委託研究計畫

☒ 期中 ☐ 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：鐵路列車自動化排點系統建置之研究

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

參與審查人員 及 其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫 承辦單位 審查意見
詹鴻漳委員		
1. 使用售票紀錄作為需求量可能有其盲點，可考慮參考訂票不成功之紀錄。	<p>使用售票紀錄作為需求量確實有其盲點。而訂票不成功之紀錄在某種程度上也反映了實際的需求。然而同一需求可能產生多筆訂票不成功紀錄，甚至亦有可能產生多筆訂票成功之紀錄。目前臺鐵網站接受訂票時均要求使用人輸入其身份證號碼，因此可用以消除大部份上述重複現象。然而受到個資法之限制，長期、完整收集整理含有個人身份資訊之訂票紀錄有其實務上之困難。</p> <p>在另一方面，本研究之具體目標在建置可實務應用之臺鐵列車自動化排點系統雛型。探求貼近真實之需求並非本研究所能達成。惟所發展之軟體雖以過去售票紀錄代替需求，但若有更貼近真實需求量之資料，本軟體可直接使用，不需修改演算核心。相關內容已納入期末報告書第二章。</p>	同意辦理。
2. 應該儘量降低臨時列車對既有車次行點之影響。	<p>實務上有辦客之臨時列車在行點安排上經常彈性甚低。加以常因申請人之需求，於特定車站作長時間停留。再考慮臺鐵定期列車之行車密度，欲完全避免低臨時列車對既有車次行點之影響，幾不可能。</p> <p>本研究所發展之自動排點軟體允許使用者自由設定影響程度。例如若設為 0 則臨時列車對背景班表中既有車次之行點完全無影響；若設為 0.5 則背景班表中之列車行點可能因為臨時列車之排入</p>	同意辦理。

	而有 30 秒之影響等等。亦即此項參數值愈小，臨時列車對背景班表車次行點影響愈小。然而同時亦增加無法排入臨時列車之機會。	
李西武委員		
1. 報告第 9 頁，「通過某一車站」應改為「行經某一車站」、「所有股道…之集合」應改為「所有進路股道…之集合」。	已修正，謝謝。	同意辦理。
2. 報告第 9 頁至第 13 頁之模式，所謂「區間」一詞應予明確說明。	在此數學模式中，「區間」指任一時間僅允許最多一列車佔用之一段軌道，其意接近軌道電路。因此報告中已修正為「軌道電路」。	同意辦理。
3. 實務上運轉時隔有多種態樣。	本數學模式中，前後使用同一軌道電路之兩列次間均有個別之變數代表其時隔，亦即參數。因此任何複雜態樣之時隔規定均能容納於本模式中。此部份已補充於行點模式相關說明中。	同意辦理。
4. 「時隔」與「最小時隔」應予統一。	本報告中以「時隔」稱呼前後列車通過同一軌道電路時，其間之時間間隔。此一間隔應有之最小值稱為「最小時隔」。報告已據此修正，謝謝。	同意辦理。
5. 臨時列車模組可否提供臺鐵局界接使用	提供臺鐵局界接使用，為自動排點核心技術之發展，與相關軟體系統實作之最終目標。在臨時列車排點方面，本系統已經完成界接之界面，可隨時提供臺鐵局界接使用，並於本報告中詳細說明其使用方法。	同意辦理。
6. 班表衝突檢查演算核心使用多種參數，應予說明其設定方式。	已於報告中說明，謝謝。	同意辦理。
7. 方案資源評估應納入服務指標，例如班距等。並建議納入班表穩定度之評估。	班表之班距等服務指標，以及班表穩定度評估均為班表分析之重要項目。此外尚有班表對各種起迄對在各時段提供運輸服務之能力等等，亦均屬之。惟這些分析與人、車、路運轉資源評估在本質上略有不同。建議在軟體發展	同意辦理。

	中以單純化處理，並將前述班表分析納入後續研究項目中。	
8. 排點模組是否能考慮同一車次在不同區間使用不同牽引種別，以及更換機車所需額外停站時間等之狀況。	本系統之核心演算法能夠充份納入不同區間使用不同牽引種別之需求，而核心模組亦同樣具備充份之能力。	同意辦理。
交通部臺灣鐵路管理局		
1. 實務上臨時列車之起、終站以及中間停靠站均與一般定期列車不同，界面之操作方式是否能支援。	本系統所提供之界面允許使用者對所欲排入之臨時列車之運行區間、中途每一車站之停靠與否、停靠站之最小停站時間、始發站之理想發車時間等均自由設定之。若以無對話界面之檔案界接方式使用本項功能，則前述資訊均可設定於所上傳之檔案中	同意辦理。
2. 若因為需求面之壓力，臨時列車班表之衝突無法避免，系統是否能容許人為介入排點。	若因為需求面之壓力，臨時列車班表之衝突無法避免，則可使用本系統之「中品質」或「低品質」設定。在這些設定下，系統仍將儘量避免衝突產生，惟若衝突無法避免，則系統自動啟用容錯功能，以最佳化之方式容許衝突產生而排入臨時列次。若於系統求解完成之後再以人為進行調整，當然與本系統之功能不相妨礙。	同意辦理。
邱裕鈞委員		
1. 本研究方向正確。	謝謝指教。	同意辦理。
2. 本軟體系統採用 SOA 架構應為正確選擇。惟為方便使用，可考慮將常用工作型態組合不同模組。	此為重要之未來發展方向。	同意辦理。
3. 未來移交臺鐵局之後是否仍需要使用雲端架構？	本系統以準雲端架構實作，各個子系統均實作成為獨立的程式，可以單獨執行，也可以包裝成獨立的雲端服務，各個子系統以私有雲的方式包裝成一整個自動排點的雲端服務。未來移交臺鐵局時，仍建議維持原有架構。	同意辦理。
4. 未來如果完全使用自動全線排點，是否仍需要衝突檢查與修正之功能？	完全使用自動排點系統以排定班表時，系統自動產生之班表應不含衝突。然而審酌目前臺鐵局之作業方式、分工制度、以及套裝軟體之成熟程度，近期内臺鐵	同意辦理。

	<p>局在排點時，行點之決定以及衝突之檢查與排除應仍以人工作業為主。因此衝突檢查之功能在此方面仍有其階段性之必要性。</p> <p>第二，自動排點系統使用甚多參數。而衝突檢查模組係以相同之參數組作為檢查之基準。因此利用衝突檢查模組以檢查臺鐵真實班表時，將有助發現軟體所使用之排點參數需要校正之處。</p> <p>第三，未來本系統若適當界接臺鐵之 ATP 系統，則可自動利用 ATP 之行車紀錄以還原完整之全系統真實運轉紀錄。利用本系統之衝突檢查功能以檢查這些行車紀錄時，可有助校正排點時所使用之參數。</p> <p>以上說明已補充於報告書本文中。</p>	
<p>5 報告應更清楚說明服務計畫與配位。模式中 r 與 t 之關係如何？以一小時為時段單位長度是否過長？權重應如何設定？若需要長程優於短程，模式是否能達成？建議配位模式應與需求量之推估適當區隔。</p>	<p>本報告有關服務計畫之核心技術以及軟體功能已分別說明於第二章與第四章。其中第二章又將服務計畫之最佳化、對號列車之配位、以及所對應之數學模式與求解演算法分別於不同小節說明之。</p> <p>本模式中以 r 代表候選車次，而以 t 對應時段。</p> <p>模式之目標函數中權重分為兩類，一為 c_r，代表候選車次 r 的成本，另一為 w_r 與 w_t，依序分別代表需求延後服務，與需求無法服務之懲罰權重。這兩類權重之相對大小影響模式對「決定開行更多車次以服務更多旅客」與「決定服務較少旅客以降低成本」之間如何權衡取捨。而參數 w_r 與 w_t 之設定亦可影響模式在配位時以長程或以短程優先及其程度。相關說明已詳列於第二章。</p> <p>至於需求量，對本數學模式而言係為外部資訊，因而已有完全之區隔。不論需求量为嚴謹之預</p>	<p>同意辦理。</p>

	測值、或為其他任何來源之資料，均完全不影響模式之運作。惟模式求解之品質自然受到輸入資訊品質之影響。	
6 請說明納入營運資源評估功能之目的。	輔助使用者檢視班表在資源上之可行性。班表能夠排出並不表示必能執行。	同意辦理。
周家慶委員		
1. 程式實作甚至演算法均需要配合雲端化等軟體架構做最佳化的調校。	謝謝指教。本自動排點系統已經朝雲端化的軟體系統架構設計，各個模組或是子系統包裝成獨立的雲端服務(web service)，模組內部的演算法以多執行緒方式實作，未來移植到雲端平台時系統效能能夠平行化以縮短運算時間。	同意辦理。
2. 結案前軟體應通過資安檢測	本自動排點系統使用Nessus軟體掃描各個子系統與軟體的資安弱點，掃描結果檢附在附錄當中。	同意辦理。
3. 報告中系統架構圖應呈現更細部的軟體模組架構，以與系統功能有所區分。	在期末報告中，自動排點軟體設計的部分完整的呈現在第三章當中，包含系統架構、軟體模組架構、使用者案例與軟體模組時序圖等等。	同意辦理。
4. 可否使用臺鐵真實歷史資料作為測試比對使用？	承臺鐵局協助本專案已取得多組臺鐵局真實全線班表，並用以測試與校估本軟體。	同意辦理。
5. 程式實作影響演算效率，或許可利用程式改善以縮短求解時間。	本軟體較耗費運算時間之部份均在求解班表以及求解服務計畫之過程。而如本報告第二章所說明，班表與服務計畫之求解均需要求解整數規畫、線性規畫、或混合整數規畫模式。這些模式之求解佔用了絕大部份CPU時間。惟這些求解均利用CPLEX商用軟體作為求解引擎，並無法取得其原始碼。	同意辦理。
許書耕委員		
1. 售票紀錄雖非真實需求，但現階段應可使用。	謝謝，本軟體在發展過程中亦以過去售票紀錄作為測試之用。	同意辦理。
2. ATP紀錄是否可納入使用	本軟體之排點參數亦儘量以ATP資料作為參數之參考。	同意辦理。
陳一昌委員		

1. 回送車次之規畫亦造成臺鐵局工作負擔，是否將納入系統中？	回送車次之規畫在本質上係車輛編組運用計畫之一部份，並不在本研究範疇內。惟若配合臨時列車或其他需求而已經排有回送車，則本系統可一併求解回送車之行點。	同意辦理。
2. 是否有可能視售票狀況動態調整配位？	動態調整配位係在已排定服務計畫，並已進入售票階段時，視實際售票狀況而調整尚未售出部份之配位。其理論基礎與核心技術與本研究頗為不同，並不在本研究範疇中。	同意辦理。
3 發展具實用能力之自動排點系統為本所長期努力之目標。請說明本案對此目標之貢獻如何？	鐵路自動排點系統為一高度挑戰性，且具相當重要性之努力之目標。求解無衝突之班表為其中最重要之部份，但並不足以構成功能完整、具實用價值之自動排點系統。一個完整的系統還需要其他功能，例如衝突之檢驗與排除、臨時列車之安插、運行圖之顯示等，以及最重要的資料平台。這些個別功能均各有其技術門檻與發展歷程。本案對此目標之重要具體貢獻，為整合這些功能，使之成為相互共容、相輔相成之整體系統。	同意辦理。
運研所運工組		
1. 報告 P.14 所提之 SOA 應指服務導向架構 (Service-Oriented Architecture)，請補充說明其於系統設計之優劣處及特性。	採用 SOA 架構有很多優點。由於各程式模組相互獨立，因此其發展建置之順序具有甚高之自由度，適合未來臺鐵局視需求與可用資源持續發展之。各模組亦可視需求予以抽換而不影響其他模組，亦有利於長遠之發展。此外，各模組可以使用不同之程式語言、在不同平台上，在共同的標準下發展，使得未來臺鐵局接續發展時可以開放給多數不同單位共同參與，有利加速發展過程，並且避免受限於單一技術。SOA 架構的缺點是分散式的計算當中，通訊協定與資料交換的過程會增加一些系統的負荷，但本系	同意辦理。

	統屬於計算需求導向的系統，這些資料交換的負荷相較之下相對非常輕微，對系統效能幾乎無影響。以上內容已補充於報告書第一章。	
2. 報告 P.20 之衝突檢查中，各項參數設定對於實務應用之影響應逐一說明釐清，如站間運行時分設定為基準運轉時分 0.99~1.25，理由為何？影響為何？	於本期末報告中已取消大多數之參數設定，僅留下若班表中列車在站間之運轉時分達基準運轉時分之 1.5 倍，或班表之停站時分達最小停站時分之 1.5 倍時產生警告。其餘檢查項目均無參數。	同意辦理。
3. 服務計畫與配位演算功能係於工作會議中與臺鐵局討論後新增，應於報告中說明與列車排點之關聯性。	服務計畫為排點作業之上位計畫，亦為排點時理想班表之來源。而配位是服務計畫研擬過程之一部份。相關論述已納入第二章中說明之。	同意辦理。

附錄B 期末審查意見及辦理情形

交通部運輸研究所■合作研究計畫第2類□委託研究計畫

□期中■期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：鐵路列車自動化排點系統建置之研究

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

參與審查人員 及 其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫 承辦單位 審查意見
一、邱委員裕鈞		
1. 請補充說明各系統中各模式的輸入與輸出資料為何。	本系統大部份模組的輸入均由程式自動自 RDSP 取得，且其輸出亦自動匯入 RDSP 中。	同意辦理。
2. 報告架構請參考一般研究報告格式調整，如文獻回顧可集中成專章、後續研究由目前分項陳述整合入結論與建議。	於期末報告定稿中，所有文獻回顧均併同自動排點技術發展歷程之回顧，集中於第二章。 已將後續研究各項目依其性質整併為「實務應用之展望」、「核心技術之後續發展」、「國際化發展」三項並納入第七章中。	同意辦理。
3. 研究中是否可納入班表求解績效評估。	已在報告中增加 5.9 節，呈現以本系統求解臺鐵全線真實班表之成果。	同意辦理。
4. Column generation 所 generate 者為何？請補充說明。	本模組依 Column generation 之概念，每次產生若干趟車次，再由混合整數模式從中挑選。已在 3.3 節補充說明之。	同意辦理。
5. 請補充說明服務計畫模式之參數如何設定及各參數間之影響。	這些參數之設定值多為試誤之結果，並非推導之產出。已在 3.3 節補充說明之。	同意辦理。
6. 請說明 CPLEX 與 TrainWorld 間應用關係為何。	在本系統中，CPLEX 作為 TrainWorld 最深處之核心求解引擎。而求解服務計畫時，亦以 CPLEX 求解混合整數規畫模式。以上均已說明於本期末報告中。	同意辦理。
7. 臨時事故之應變是否可納入本系統未來應用。	任一處理臨時事故之決策輔助系統均必須直接介接臺鐵局之 CTC 系統方能掌握現況。此為高難度之障礙，故本系統距此一理想尚有一段距離。	同意辦理。
8. 排點系統未來應用中所談到鐵路投資方案評估，以一般	鐵路列車受制於軌道，其運行完全受制於軌道，並受號誌系統之管	同意辦理。

公路建設計畫評估而言，並未詳細到號誌時相之設計，同理，於鐵路建設計畫應用列車排點來評估其必要性如何？	制。因此公路方案之評估與鐵路方案之評估相去甚遠。已加強論述於期末報告第六章。	
二、詹委員鴻漳		
1. 感謝運研所長期對自動排點相關技術之研發，建議未來可接續發展人員與列車編組運用之最佳化技術。	人員與列車編組運用之最佳化確是未來之重要發展方向。本項已補充列入期末報告第七章。	同意辦理。
2. 服務計畫之產製，採售票資料產生之配位恐有盲點，例如旅客之購票行為、對臺鐵營運之系統收益管理等面向即未能納入考慮。	本系統將運輸需求視為外部資料，未來應用時使用任何資料來源均可，但求解結果之品質將視所輸入之資料之品質而異。至於配位是否與購票行為一致，本團隊目前正在另外進行基礎研究。本研究之成果僅作簡化之考量。	同意辦理。
3. 臺鐵局班表中應該不會有報告內第一類衝突，應不必納入衝突排除模組。	第一類衝突之排除原本即未納入衝突排除模組中。本系統建議以班表求解之功能排除第一型衝突。	同意辦理。
4. 圖 3.2 之列車停站時間不合理，請說明。	圖 3.2 為求解過程其中一個步驟之示意圖。該步驟僅考慮列車順序，並無行點之屬性。本項已在期末報告中加強說明之。	同意辦理。
5. 插入臨時列車時，允許在某範圍內調整背景班表，是否形同重新排班表，此與實務作業似有落差？	該項設計之原意在供使用人員評估臨時列車之影響。例如，若允許背景班表調整 1.5 分鐘方能排入某臨時列車，則顯示此臨時列車對背景班表之影響將在 1.5 之內。而調整過後之行點亦可顯示班表各處所受之影響大小。	同意辦理。
6. 插入臨時列車界面是否允許新增車次，或僅能由背景班表中挑選。	界面由背景班表中挑選樣板車次之設計目的，在節省新增車次時人工操作之程序。操作人員亦能在界面中調整其行程、停站時間等參數。	同意辦理
7. 售票紀錄對需求的代表性並不足，使用上請考量。服務計畫產製是否有安排區間車的功能？	售票紀錄對需求之代表性確實有限。 目前臺鐵系統中，除北部區域部份路段外，多數區域之區間車並未滿載。此時區間車之服務計畫之主要著眼點在滿足班車最大間距。此種	同意辦理

	考量與對號列車並不相同。為了此種狀況，以及實務運上之各種需求，本系統在此方面功能之設計為由軟體產生 CSV 格式之理想班表。該格式允許方便之人為編修，並可以編修之後利用本系統之功能匯入 RDSP 進行後續之班表求解及其他處理。	
三、李委員西武		
1. 感謝運研所多年來發展自動排點相關研究，建議未來朝向強化實務應用及班表檢核之方向發展。	謝謝。所建議之未來發展已納入期末報告第七章。	同意辦理。
2. 臺鐵系統平假日與尖離峰需求甚大，同一車次可能在尖峰時間帶通過某區域，又在離峰時間通過另一區域。於此系統內如何考量？	本系統服務計畫模組已納入列車於不同時段行經不同區域之考量。	同意辦理。
3. 建議報告內可補充說明自動排點系統對臺鐵局之具體效益。	本系統之上線可為臺鐵局立即帶來之效益有(1)大幅降低排點人員之工作負荷，以及(2)對增停、延駛、加開等方案之快速而具體之評估。已補充於期末報告書第七章。	同意辦理。
4. 請說明系統內如何考慮寬裕量與班表穩定度。	整體規畫上，本系統之自動排點模組旨在排出班表，而調整寬裕量之分配以提高班表回復力之基本考量與排點頗有差異，宜以運轉模擬之方式為之。	同意辦理。
5. 請說明臨時列車三種容錯程度之設計考量因素，及對實務作業之影響？	本研究訪談亦發現臺鐵在實務上常因外界之強力要求而必須以容錯方式排入臨時列次。為配合實務作業之需求，本研究乃設計三種容錯程度供未來操作人員選用。其中最高品質之設定，其對臨時列車之容錯量為零，亦即不允許任何衝突。其他等級之設定均有容錯，但即便容許衝突，本系統仍儘量避免衝突之產生。	同意辦理。
6. 是否可能以歷史資料比較人工與電腦排臨時列車之異同。	由於臨時列車各有不同之申請背景，直接以歷史資料輸入自動排點系統試排並比較恐有誤導。建議於教育訓練時作測試。	同意辦理。
四、交通部臺灣鐵路管理局		

1. 採雲端架構系統之專屬性、安全性、隱密性請再說明。	雲端架構有利軟體、資料、及硬體之共享。未來將整套系統安裝於臺鐵局並無技術上之障礙。且考慮目前維運之實際需要，亦以雲端架構較合宜。	同意辦理。
2. 衝突檢查模組對停站時間似有 0.5 至 8 分鐘之限制，但臨時列車常有長時間停站之需求，於系統如何處理？	衝突檢查之 0.5 至 8 分鐘長度設定為檢查時發出警訊之標準，對臨時列車或全線班表之排點並不造成限制。	同意辦理。
3. 運行時間、停站時間等以秒為單位，是否能改以分為單位。	未來發展實用之操作界面時可一併處理，並無困難。	同意辦理。
五、本所運計組		
1. 請充實報告中案例驗證之部份。	已在報告中增加 5.9 節，呈現以本系統求解臺鐵全線真實班表之成果。	同意辦理。
2. 本系統是否能用以檢視鐵路瓶頸路段，以排點技術評估系統容量。	此為值得嚐試之方向，但成效如何可能需要深入分析。基本上鐵路運轉之瓶頸往往並非由軌道單方面所造成，而是由班表與軌道共同形成。具體言之，在軌道系統中，瓶頸之形成往往是由於某處之軌道設施無法滿足列車在該處之操作所需。例如，若由於班表之需求，列車經常需要在某處辦理追越，而該處之股道卻無法提供追越之功能，即形成瓶頸現象。此時，改善之道可考慮提升股道，亦可考慮修改班表。傳統上對瓶頸路段之檢視均以股道等設施之佈設為主要檢視項目，而本系統正可以作為納入班表考量之有力工具。	同意辦理。
六、許委員書耕		
1. 目前服務計畫與配位之核心技術發展程度如何？本項技術在整體鐵路營運系統架構中之位置如何？	服務計畫與配位核心技術之基礎研究已經達到一定成果，惟與實用尚有若干距離。在整體架構中，本項技術位居上游位置，橋接運輸需求與運輸供給兩大區塊。	同意辦理。
2. 系統可否納入班表穩定性評估功能？	班表穩定化以及回復力分析之核心技術已經接近實用程度，未來與 RDSP 結合，並加入適當操作界面後將可提供實務運用。	同意辦理。

3. 如何在本系統中應用實際營運之 ATP 紀錄？	實際營運之 ATP 紀錄為真實班表執行時之真實紀錄，評估班表穩定度時可用以作為基本模擬參數之用。惟該系統之原始設計並非作此用途，因此原始 ATP 紀錄資料需要先經過複雜之清分與篩選，之後即可萃取所需之模擬參數。	同意辦理。
七、陳委員一昌		
1. 請於報告內一併回顧臺鐵與運研所鐵路列車排點相關研究之發展歷程。	遵照辦理，已整理於期末報告第二章。	同意辦理。
2. 報告內提出後續發展方向時，請評估其可行性以及所需時間、經費等資源，並建議未來優先發展方向。	在目前成果上，朝向上線運轉，是未來最重要的發展方向。	同意辦理。

附錄C軟體使用手冊

簡介

本手冊為 TrainWorld 系統之操作說明書，系統入口為一簡單界面，透過該界面之按鈕可啟動以下七大功能：服務計畫、班表求解、臨時列車、衝突檢查、衝突排除、運行圖顯示、與班表管理。本手冊將分別針對各項功能之操作流程說明

服務計畫功能

使用目的：依使用者制定之服務計畫，自動產生理想班表。

操作步驟：

1. 確認存放 TrainWorld.exe 的目錄下存在 sp_in.csv 以及 sp_demand.txt。
sp_in.csv 為使用者設定之服務計畫與車次樣板檔，相關設定請參考(文件說明 1)的內容。
2. 開啟「TrainWorld」功能表單，使用滑鼠左鍵在「服務計畫」項目上點兩下。

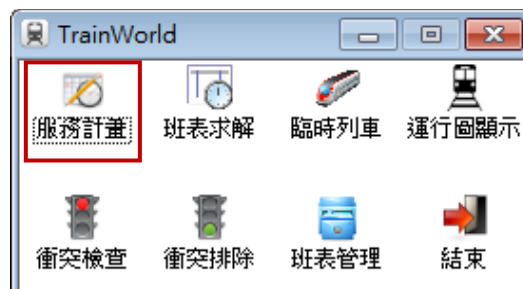


圖 E.1 TrainWorld 功能表單

3. 上步驟會觸發系統自動呼叫「服務計畫.exe」，產生如圖 E.2 的執行畫面。
當程式自動結束，並在存放 TrainWorld.exe 的目錄下產生 sp_out_final.csv，代表系統已成功將服務計畫轉為理想班表。

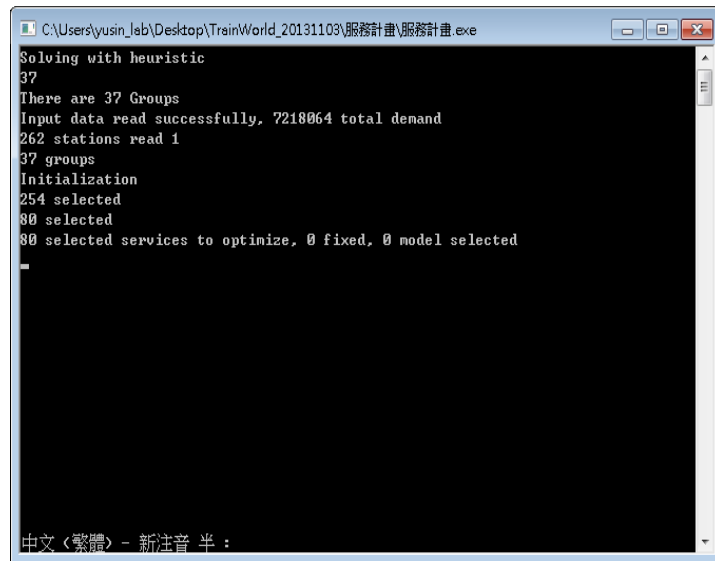


圖 E.2 程式執行畫面

4. 如需將理想班表匯入資料庫，請參考「班表管理」功能操作步驟 1 與 2 的說明。

班表求解功能

使用目的：依使用者需求自動排點。

操作步驟：

1. 開啟「TrainWorld」功能表單，使用滑鼠左鍵在「班表求解」項目上點兩下，進入班表求解的使用者介面。

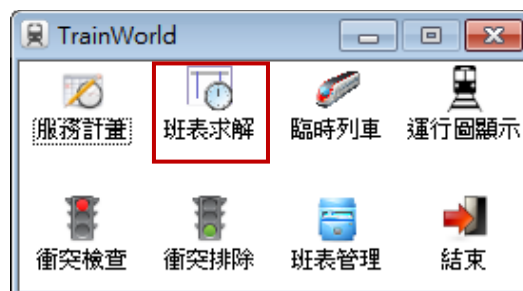


圖 E.3 TrainWorld 功能表單

2. 讀取理想班表

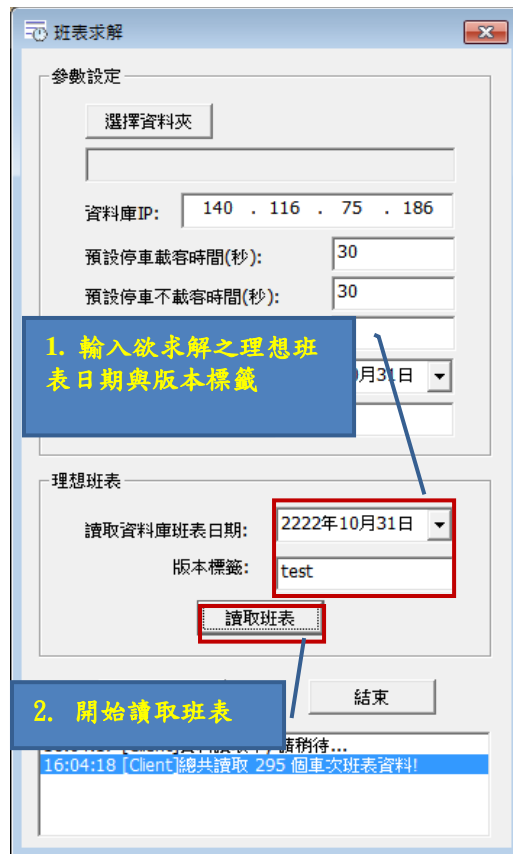


圖 E.4 讀取理想班表示意圖

3. 參數設定

- (1)選擇指定網路磁碟機下的 TrainWorld 專區\TRA_TimeTable 作為工作目錄。
- (2)設定列車停站預設時間
- (3)指定自動排點後的班表欲儲存的位置。

班表求解

參數設定

1. 選擇工作目錄

選擇資料夾

Z:\TrainWorld專區\TRA_TimeTable

2. 設定停站預設時間

. 75 . 186

預設停車載客時間(秒): 30

預設停車不載客時間(秒): 30

預設通過時間(秒): 0

寫入資料庫班表日期: 2500年10月31日

版本標籤: meiling

3. 指定排點結果的儲存位置

2222年10月31日

版本標籤: test

讀取班表

求解 結束

16:04:17 [Client]資料讀取中, 請稍待...

16:04:18 [Client]總共讀取 295 個車次班表資料!

圖 E.5 參數設定示意圖

4. 求解：

按下「求解」按鈕，系統即會開始自動排點。自動排點時，介面下方會顯示排點進度。若所有車次已全數排點完成，系統會將排點結果自動匯入使用者指定日期的班表。

班表求解

參數設定

選擇資料夾

Z:\TrainWorld專區\TRA_TimeTable

資料庫IP: 140 . 116 . 75 . 186

預設停車載客時間(秒): 30

預設停車不載客時間(秒): 30

預設通過時間(秒): 0

寫入資料庫班表日期: 2500年10月31日

版本標籤: meiling

理想班表

讀取資料庫班表日期: 2222年10月31日

版本標籤: test

讀取班表

求解 結束

16:33:52 [Server]Insert 1233 succeed (92/293)
16:34:03 [Server]Insert 1238 succeed (93/293)
16:34:15 [Server]Insert 124 succeed (94/293)
16:34:26 [Server]Insert 1241 succeed (95/293)
16:34:38 [Server]Insert 1242 succeed (96/293)

圖 E.6 班表求解示意圖

臨時列車功能

使用目的：依使用者需求在一份既定背景班表中，安插數班臨時列車。

操作步驟：

5. 開啟「TrainWorld」功能表單，使用滑鼠左鍵在「臨時列車」項目點兩下，進入安插臨時列車的使用者介面。

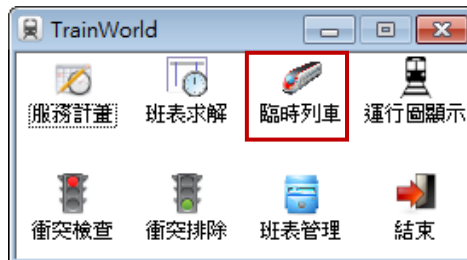


圖 E.7 TrainWorld 功能表單

6. 載入背景班表

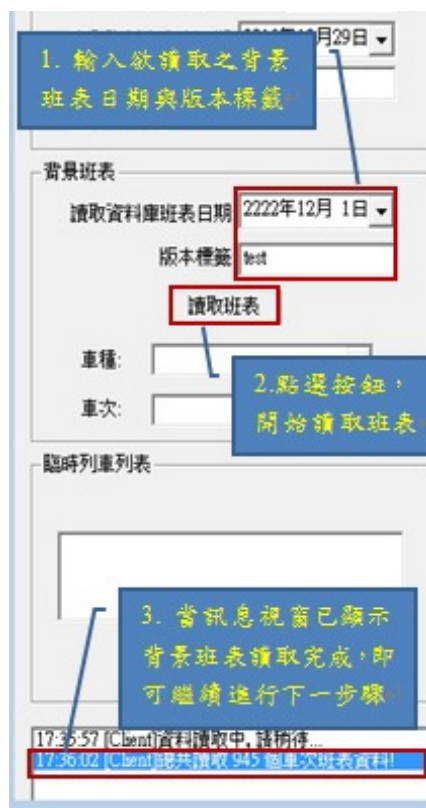


圖 E.8 載入背景班表示意圖

7. 設定臨時列車

(1)自讀取完成的背景班表中，選擇一班車次作為臨時列車的樣板。選好的樣板會顯示在右方的視窗。

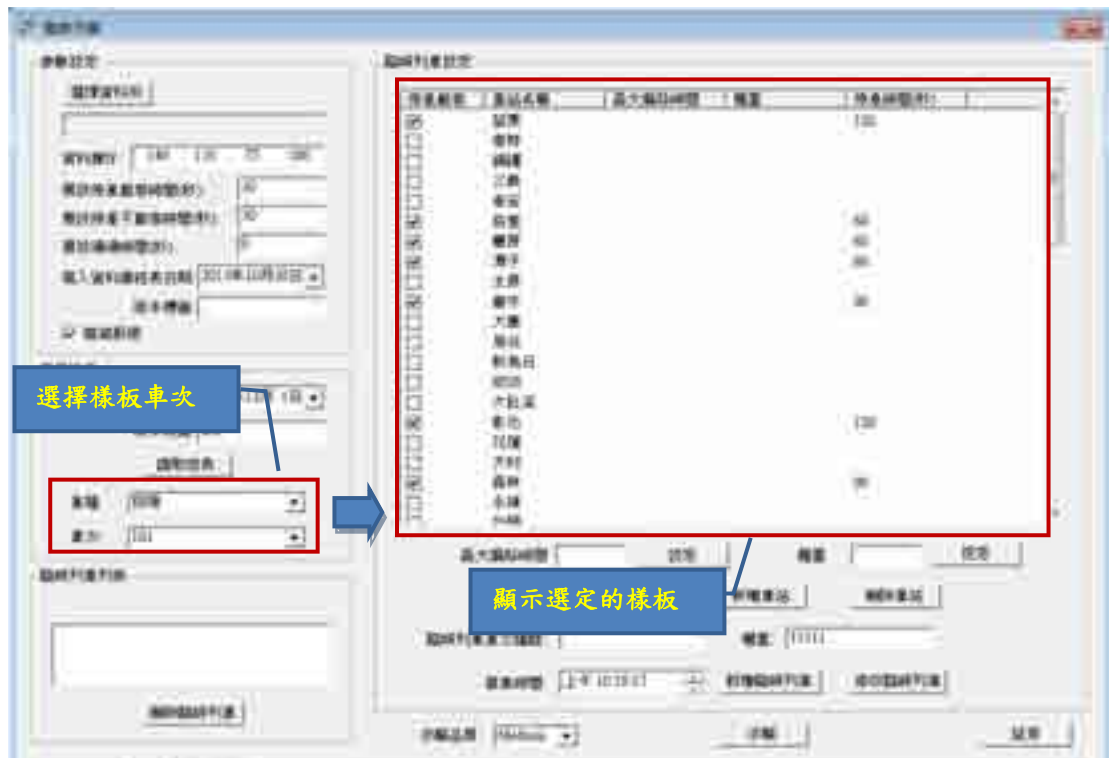


圖 E.9 選取樣板車次

(2)新增/刪除車站：使用者可依需求在樣板中增/減列車的行經車站。

➤ 新增車站：

至「車站選擇」選單中選擇欲增加的車站，再按下「新增車站」按鈕，即可在行程中加入該車站。

臨時列車設定

停車載客	車站名稱	最大偏移時間	權重	停車時間(秒)
<input checked="" type="checkbox"/>	苗栗			120
<input type="checkbox"/>	南勢			
<input type="checkbox"/>	銅鑼			
<input type="checkbox"/>	三義			
<input type="checkbox"/>	泰安			
<input checked="" type="checkbox"/>	后里			60
<input checked="" type="checkbox"/>	豐原			60
<input checked="" type="checkbox"/>	潭子			60
<input checked="" type="checkbox"/>	太原			
<input checked="" type="checkbox"/>	臺中			90
<input type="checkbox"/>	大慶			
<input type="checkbox"/>	烏日			
<input type="checkbox"/>	新烏日			
<input type="checkbox"/>	成功			
<input type="checkbox"/>	大肚溪			
<input checked="" type="checkbox"/>	彰化			120
<input type="checkbox"/>	花壇			
<input type="checkbox"/>	大村			
<input checked="" type="checkbox"/>	員林			90
<input type="checkbox"/>	永靖			
<input type="checkbox"/>	34 站			

設定 權重 設定

臨時列車車次編號: 新增車站 權重:

發車時間: 新增臨時列車 修改臨時列車

1. 選擇欲新增的車站

2. 按下按鈕，將選定的車站新增至臨時列車行程

圖 E.10 新增車站示意圖 1

臨時列車設定

停車載客	車站名稱	最大偏移時間	權重	停車時間(秒)
<input type="checkbox"/>	豐富			
<input checked="" type="checkbox"/>	苗栗			120
<input type="checkbox"/>	南勢			
<input type="checkbox"/>	銅鑼			
<input type="checkbox"/>	三義			
<input type="checkbox"/>	泰安			
<input checked="" type="checkbox"/>	后里			60
<input checked="" type="checkbox"/>	豐原			60
<input checked="" type="checkbox"/>	潭子			60
<input type="checkbox"/>	太原			
<input checked="" type="checkbox"/>	臺中			90
<input type="checkbox"/>	大慶			
<input type="checkbox"/>	烏日			
<input type="checkbox"/>	新烏日			
<input type="checkbox"/>	成功			
<input type="checkbox"/>	大肚溪			
<input checked="" type="checkbox"/>	彰化			120
<input type="checkbox"/>	花壇			
<input type="checkbox"/>	大村			
<input checked="" type="checkbox"/>	員林			90
<input type="checkbox"/>	永靖			

最大偏移時間 設定 權重 設定

車站選擇: 新增車站 刪除車站

臨時列車車次編號: 權重:

發車時間: 新增臨時列車 修改臨時列車

3. 行程中已顯示新加的車站，即代表新增成功

圖 E.11 新增車站示意圖 2

➤ ☐刪除車站：

在列車行程中點選欲刪除之車站後，按下「刪除車站」按鈕，即可在車站行程中刪除指定車站。

臨時列車設定

停車載客	車站名稱	最大偏移時間	權重	停車時間(秒)
<input type="checkbox"/>	豐富			
<input checked="" type="checkbox"/>	苗栗			120
<input type="checkbox"/>	南勢			
<input type="checkbox"/>	銅鑼			
<input type="checkbox"/>	三義			
<input type="checkbox"/>	泰安			
<input checked="" type="checkbox"/>	后里			60
<input checked="" type="checkbox"/>	豐原			60
<input checked="" type="checkbox"/>	潭子			60
<input type="checkbox"/>	太原			
<input checked="" type="checkbox"/>	臺中			90
<input type="checkbox"/>	大慶			
<input type="checkbox"/>	烏日			
<input type="checkbox"/>	新烏日			
<input type="checkbox"/>	成功			
<input type="checkbox"/>	大肚溪			
<input checked="" type="checkbox"/>	彰化			120
<input type="checkbox"/>	花壇			
<input type="checkbox"/>	大村			
<input checked="" type="checkbox"/>	員林			90
<input type="checkbox"/>	永靖			

1.點選欲刪除之車站

2.按下刪除按鈕

最大偏移時間 設定 權重 設定

車站選擇: 新增車站 刪除車站

臨時列車車次編號: 權重:

發車時間: 新增臨時列車 修改臨時列車

圖 E.12 刪除車站示意圖

(3) 勾選停靠車站

臨時列車設定

停車載客	車站名稱	最大偏移時間	權重	停車時間(秒)
<input checked="" type="checkbox"/>	苗栗			120
<input type="checkbox"/>	南勢			
<input type="checkbox"/>	銅鑼			
<input type="checkbox"/>	三義			
<input type="checkbox"/>	泰安			
<input checked="" type="checkbox"/>	后里			60
<input checked="" type="checkbox"/>	豐原			60
<input checked="" type="checkbox"/>	潭子			60
<input checked="" type="checkbox"/>	太原			
<input checked="" type="checkbox"/>	臺中			90
<input type="checkbox"/>	大慶			
<input type="checkbox"/>	烏日			
<input type="checkbox"/>	新烏日			
<input type="checkbox"/>	成功			
<input type="checkbox"/>	大肚溪			
<input checked="" type="checkbox"/>	彰化			120
<input type="checkbox"/>	花壇			
<input type="checkbox"/>	大村			
<input checked="" type="checkbox"/>	員林			90
<input type="checkbox"/>	永靖			
<input type="checkbox"/>	彰化			

最大偏移時間 設定 權重 設定

車站選擇: 新增車站 刪除車站

臨時列車車次編號: 權重:

發車時間: 新增臨時列車 修改臨時列車

勾選停靠車站

圖 E.13 勾選停靠車站示意圖

(4) 設定車次編號及其發車時間

臨時列車設定

停車載客	車站名稱	最大偏移時間	權重	停車時間(秒)
<input checked="" type="checkbox"/>	苗栗			120
<input type="checkbox"/>	南勢			
<input type="checkbox"/>	銅鑼			
<input type="checkbox"/>	三義			
<input type="checkbox"/>	泰安			
<input checked="" type="checkbox"/>	后里			60
<input checked="" type="checkbox"/>	豐原			60
<input checked="" type="checkbox"/>	潭子			60
<input type="checkbox"/>	太原			
<input checked="" type="checkbox"/>	臺中			90
<input type="checkbox"/>	大慶			
<input type="checkbox"/>	烏日			
<input type="checkbox"/>	新烏日			
<input type="checkbox"/>	成功			
<input type="checkbox"/>	大肚溪			
<input checked="" type="checkbox"/>	彰化			120
<input type="checkbox"/>	花壇			
<input type="checkbox"/>	大村			
<input checked="" type="checkbox"/>	員林			90
<input type="checkbox"/>	永靖			
<input type="checkbox"/>	彰化			

最大偏移時間 設定 權重

車站選擇: 新增車站 刪除車站

臨時列車車次編號: 權重:

發車時間: 新增臨時列車 修改臨時列車

1. 輸入臨時列車之車次編號

2. 輸入臨時列車的理發車時間

圖 E.14 車次編號與發車時間示意圖

(5)設定求解參數

➤ 最大偏移時間：

設定該臨時列車發車時間所允許之調整範圍。若設定值為 60，則代表使用者允許系統在理想發車時間前後 60 分鐘以內，在背景班表中選擇較合適的位置，插入該班臨時列車。

停車載客	車站名稱	最大偏移時間	權重	停車時間(秒)
<input checked="" type="checkbox"/>	苗栗	60		120
<input type="checkbox"/>	南勢	60		
<input type="checkbox"/>	銅鑼	60		
<input type="checkbox"/>	三義	60		
<input type="checkbox"/>	泰安	60		
<input checked="" type="checkbox"/>	后里	60		
<input checked="" type="checkbox"/>	豐原	60		
<input checked="" type="checkbox"/>	潭子	60		
<input type="checkbox"/>	太原	60		
<input checked="" type="checkbox"/>	臺中	60		90
<input type="checkbox"/>	大慶	60		
		60		
		60		
		60		
		60		
		60		120
		60		
		60		
		60		90
<input checked="" type="checkbox"/>	員林	60		
<input type="checkbox"/>	永靖	60		
<input type="checkbox"/>	社頭	60		

最大偏移時間: 60 設定 權重: 設定

新增車站 刪除車站

發車時間: 上午 11:30:00 新增臨時列車 修改臨時列車

2. 按下設定按鈕，確定套用此數值

3. 最大偏移時間欄位已顯示該數值，則代表設定完成

1. 臨時列車真實發車時間與理想發車時間之間允許的最大差距

圖 E.15 最大偏移時間設定

➤ ☐ 權重：

該權重代表此班臨時列車之運轉時間盡量符合理想班表之重要程度。若權重愈大，則求解時愈有「使列車之運轉時間貼近基準運轉時分」的傾向。

臨時列車設定

停車載客	車站名稱	最大偏移時間	權重	停車時間(秒)
<input checked="" type="checkbox"/>	苗栗	60	1	120
<input type="checkbox"/>	南勢	60	1	
<input type="checkbox"/>	銅鑼	60	1	
<input type="checkbox"/>	三義	60	1	
<input type="checkbox"/>	泰安	60	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	后里	60	1	60
<input checked="" type="checkbox"/>	豐原	60	1	60
<input checked="" type="checkbox"/>	潭子	60	1	60
<input type="checkbox"/>	太原	60	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	臺中	60	1	90
<input type="checkbox"/>	大慶	60	1	
<input type="checkbox"/>	烏日	60	1	
<input type="checkbox"/>	新烏日	60	1	
<input type="checkbox"/>	成功	60	1	
<input type="checkbox"/>	大肚溪	60	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	彰化	60	1	120
<input type="checkbox"/>	花壇	60	1	
<input type="checkbox"/>	大村	60	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	員林	60	1	90
<input type="checkbox"/>	永靖	60	1	

1. 設定偏移時間權重

2. 按下設定按鈕，確定套用此數值

3. 權重欄位已顯示該數值，則代表設定完成

設定 權重 1 設定

車站選擇: 新增車站 刪除車站

臨時列車車次編號: X123

發車時間: 上午 11:30:00 修改臨時列車

圖 E.16 權重設定

(6) 新增/修改/刪除臨時列車

➤ 新增臨時列車：

完成上述(1)至(5)之設定後，點選「新增臨時列車」按鈕，即可將設定好的車次加入臨時列車列表中。

重複步驟(1)至(6)，可依序加入多班臨時列車。

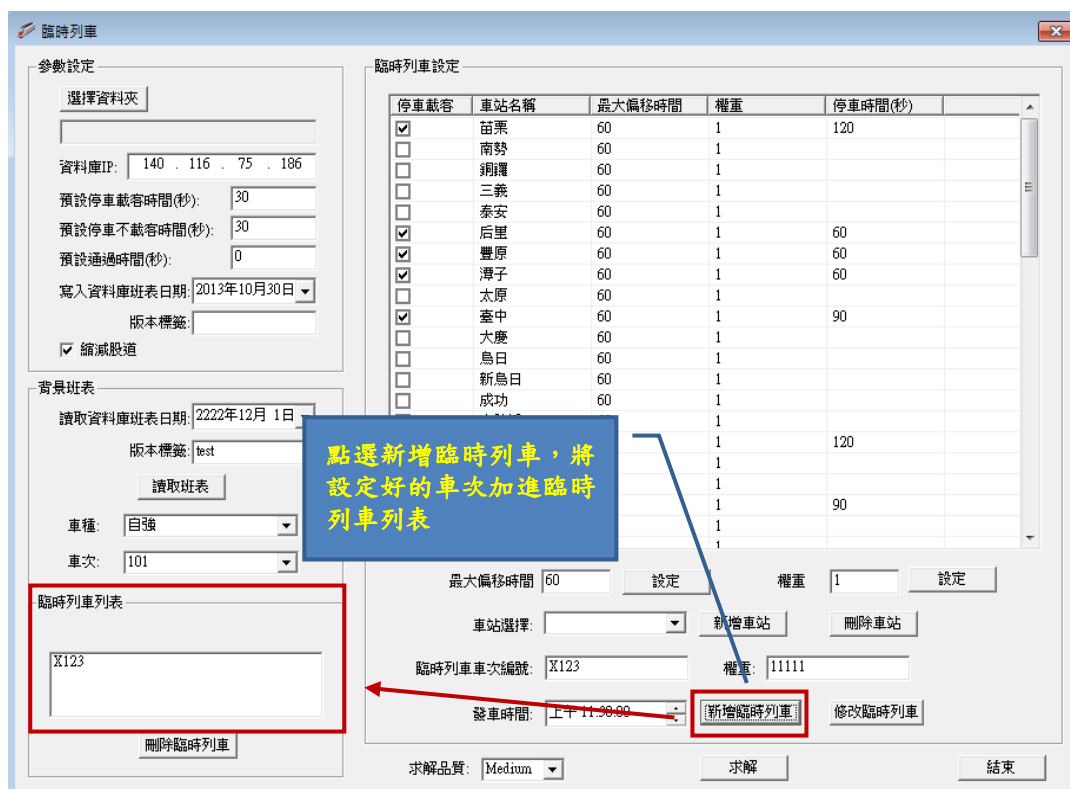


圖 E.17 新增臨時列車

➤ 修改臨時列車：



圖 E.18 修改臨時列車

□

➤ 刪除臨時列車：



圖 E.19 刪除臨時列車

8.選擇工作目錄：指定網路磁碟機下的 TrainWorld 專區\TRA_Insert 作為工作目錄

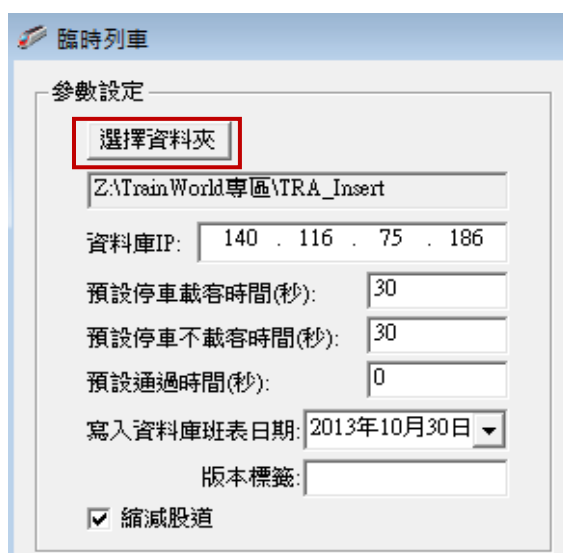


圖 E.20 設定工作目錄

9.設定輸出結果存放位置，系統會將安插臨時列車之後的結果輸出到使用者指定的 RDSP 班表中。

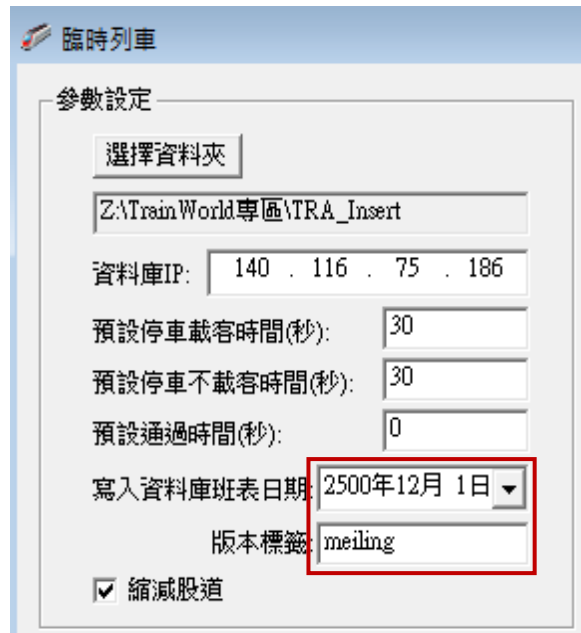


圖 E.21 設定輸出班表

10. 求解

按下「求解」按鈕，系統即會開始安插臨時列車。當系統顯示「求解結果寫入資料庫完成」之訊息，代表已完成安插臨時列車。插好臨時列車的班表會自動匯入資料庫使用者指定日期的班表。

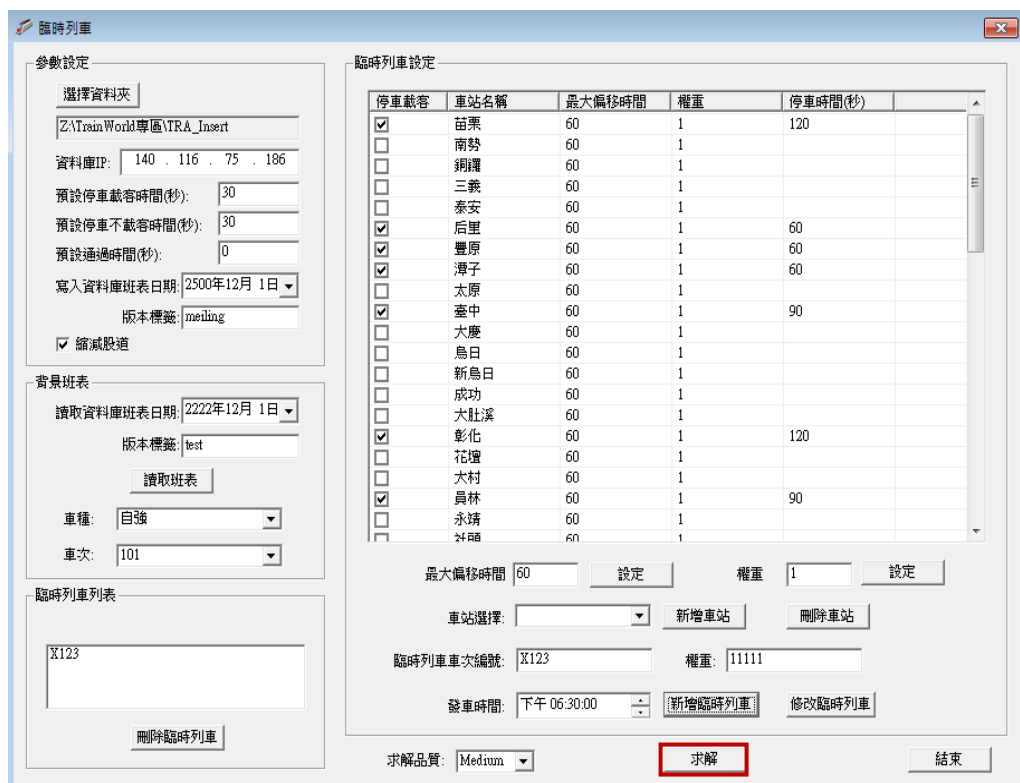


圖 E.22 求解臨時列車

衝突檢查功能

使用目的：檢查指定班表中存在哪些運轉時間不足、時隔過短等衝突。

操作步驟：

1. 開啟「TrainWorld」功能表單，使用滑鼠左鍵在「衝突檢查」項目點兩下，進入衝突檢查的使用者介面。

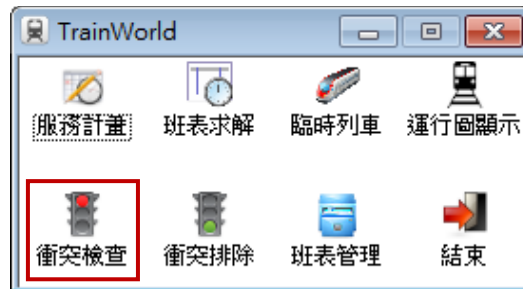


圖 E.23 TrainWorld 功能表單

2. 讀取班表

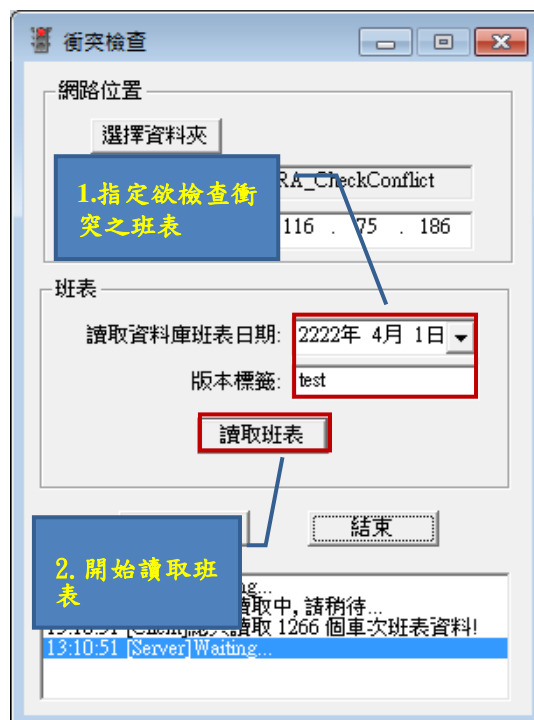


圖 E.24 讀取班表示意圖

3. 網路位置設定

(1)選擇指定網路磁碟機下的 TrainWorld 專區\TRA_CheckConflict 作為工作目錄

(2)點選「檢查」按鈕，開始進行衝突檢查。

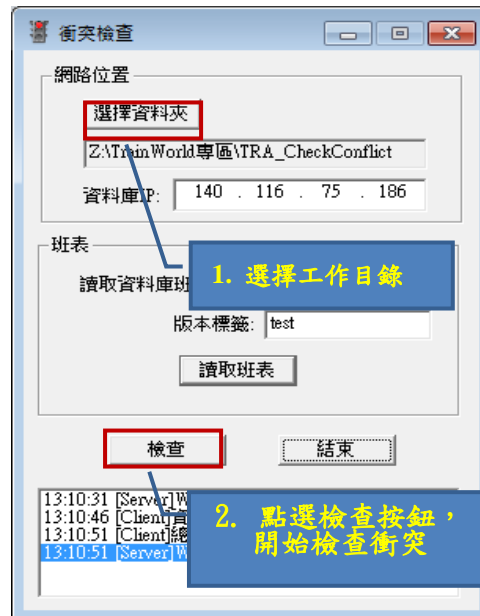


圖 E.25 網路位置設定

4. 衝突檢查完成：

當系統顯示「檢查完成」之訊息，代表衝突檢查結束。

衝突紀錄檔已自動匯入指定網路磁碟機下的 TrainWorld 專區
\TRA_CheckConflict\Conflict_after.xml。

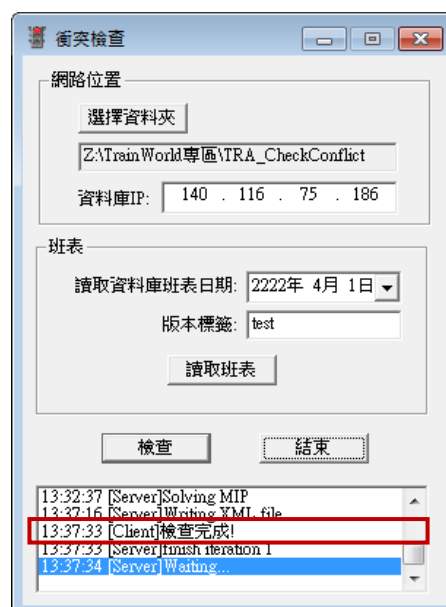


圖 E.26 衝突檢查完成

衝突排除功能

使用目的：排除指定班表中存在的運轉時間不足、時隔過短等衝突

操作步驟：

1. 開啟「TrainWorld」功能表單，使用滑鼠左鍵在「衝突排除」項目點兩下，進入衝突排除的使用者介面。

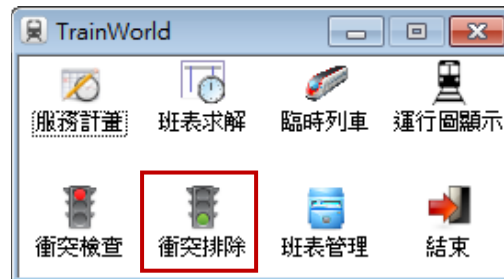


圖 E.27 TrainWorld 功能表單

2 讀取班表

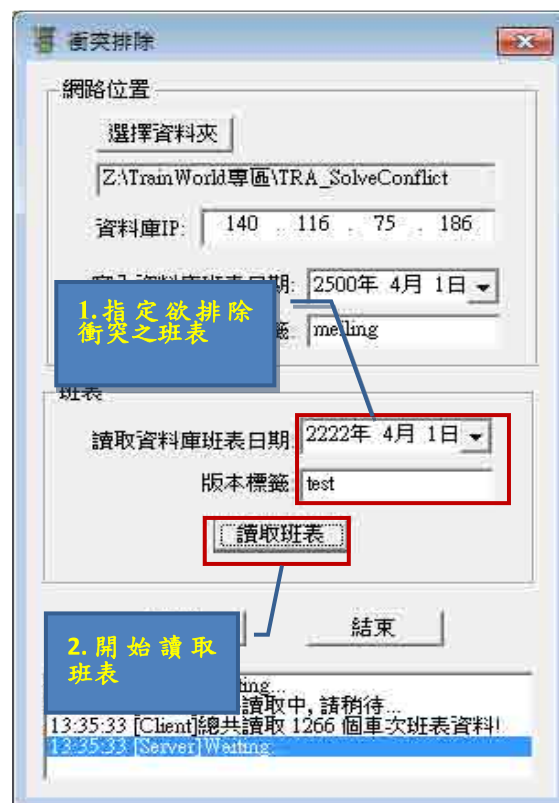


圖 E.28 讀取班表示意圖

3.網路位置設定

(1)選擇指定網路磁碟機下的 TrainWorld 專區\TRA_SolveConflict 作為工作目錄。

(2)指定排除衝突後的班表欲儲存的位置。

(3)點選「開始」按鈕，開始進行衝突排除。

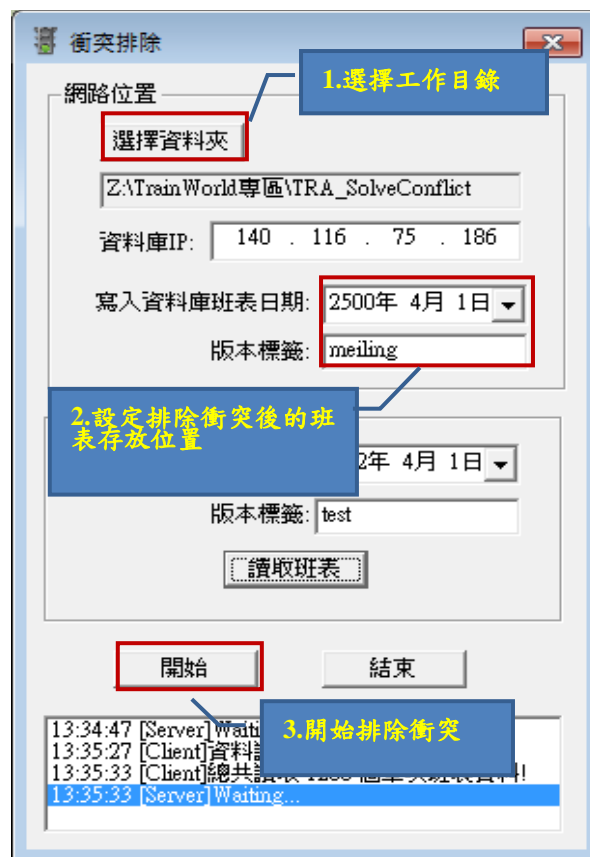


圖 E.29 網路位置設定示意圖

4. 衝突排除完成：

當系統顯示「求解結果寫入資料庫完成」之訊息，代表衝突排除結束。排除前後的衝突紀錄檔已分別自動匯入指定網路磁碟機下的 TrainWorld 專區\TRA_SolveConflict \Conflict_before.xml 與 TrainWorld 專區\ TRA_SolveConflict \Conflict_after.xml。排除衝突後的班表則會自動匯入使用者指定日期的班表。

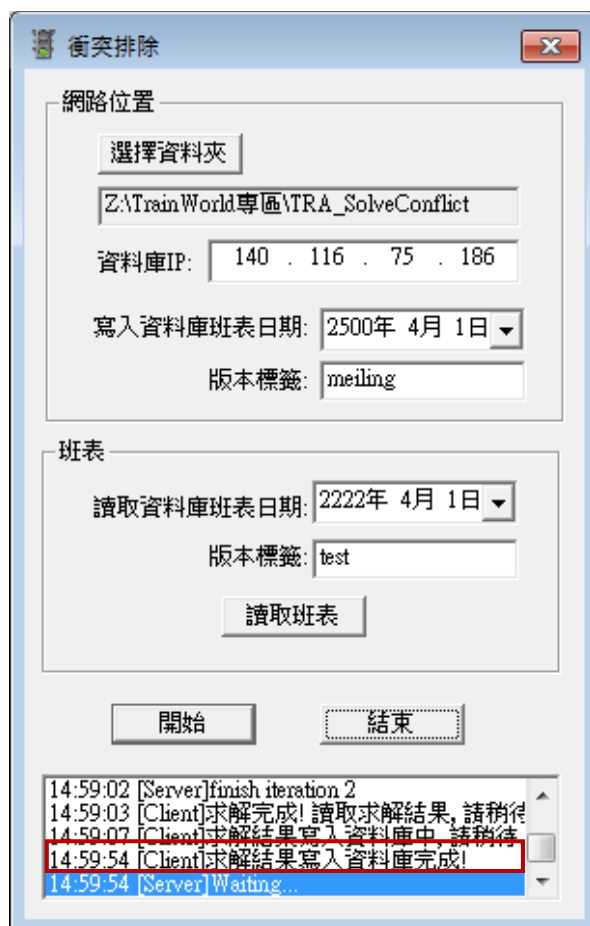


圖 E.30 衝突排除完成

運行圖顯示功能

使用目的：1. 將 **RDSP** 資料庫中的班表以圖形方式呈現。

2. 將衝突檢查結果呈現於班表運行圖上。

操作步驟：

5. 繪製運行圖：

(1)開啟「TrainWorld」功能表單，使用滑鼠左鍵在「運行圖顯示」項目點兩下，進入繪製運行圖的使用者介面。

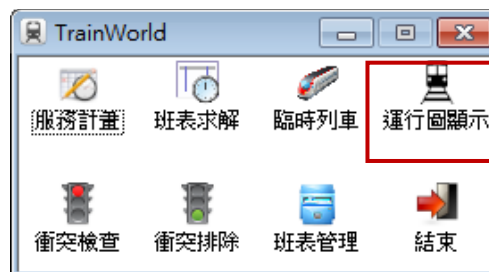


圖 E.31 TrainWorld 功能表單

(2)點選介面上方的「運行圖」工具，再選擇「載入批次資料」選項。進入批次資料的設定畫面。

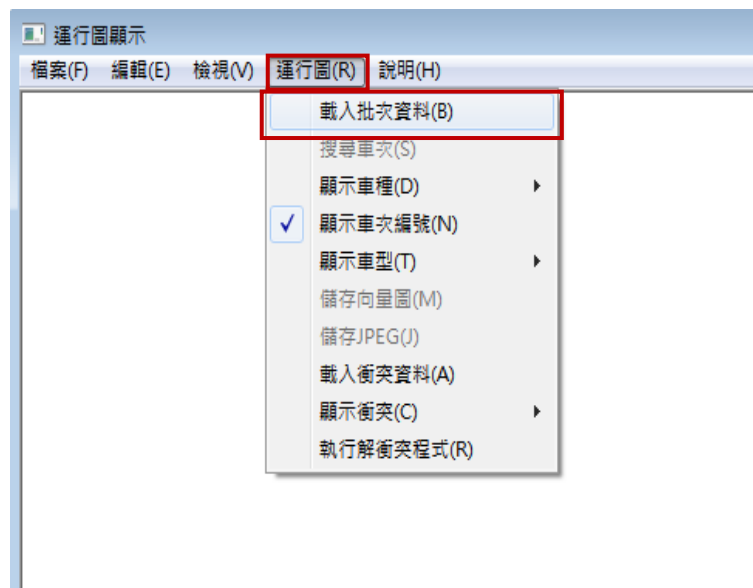


圖 E.32 載入批次資料示意圖 1

(3)填選批次資料



圖 E.33 載入批次資料示意圖 2

註：使用者如在選單中找不到欲繪製的路線，請參考(文件說明 2)修改路線相關設定。

6. 檢視運行圖

(1)運行圖調整：

在運行圖上滾動滑鼠滾輪可調整運行圖之尺寸大小。以滑鼠左鍵點選運行圖並拖曳，則可調整運行圖在視窗中的位置。

(2)檢視車次資訊：

按住 **Ctrl** 鍵並使用滑鼠左鍵點選運行圖上一車次，則可進一步檢視該車次之服務車種與行點等資訊。

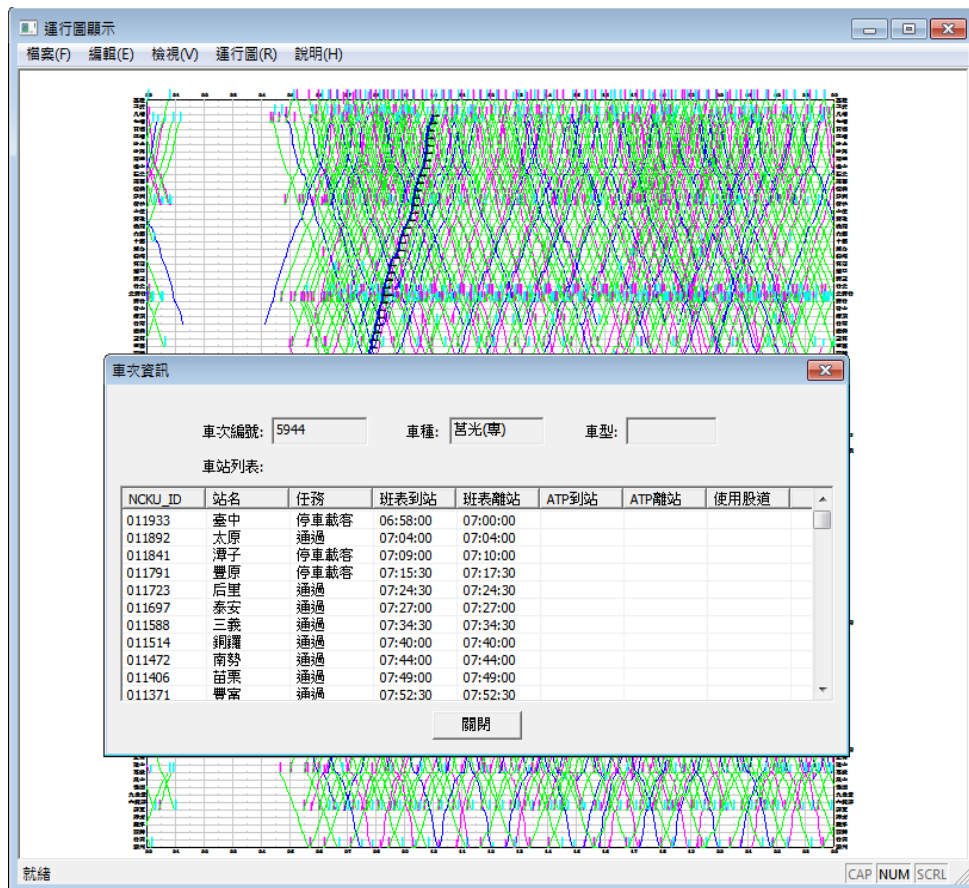


圖 E.34 檢視車次資訊示意圖

3. 載入衝突資料

(1) 點選介面上方的「運行圖」工具，再選擇「載入衝突資料」選項。進入選取衝突紀錄檔的畫面。

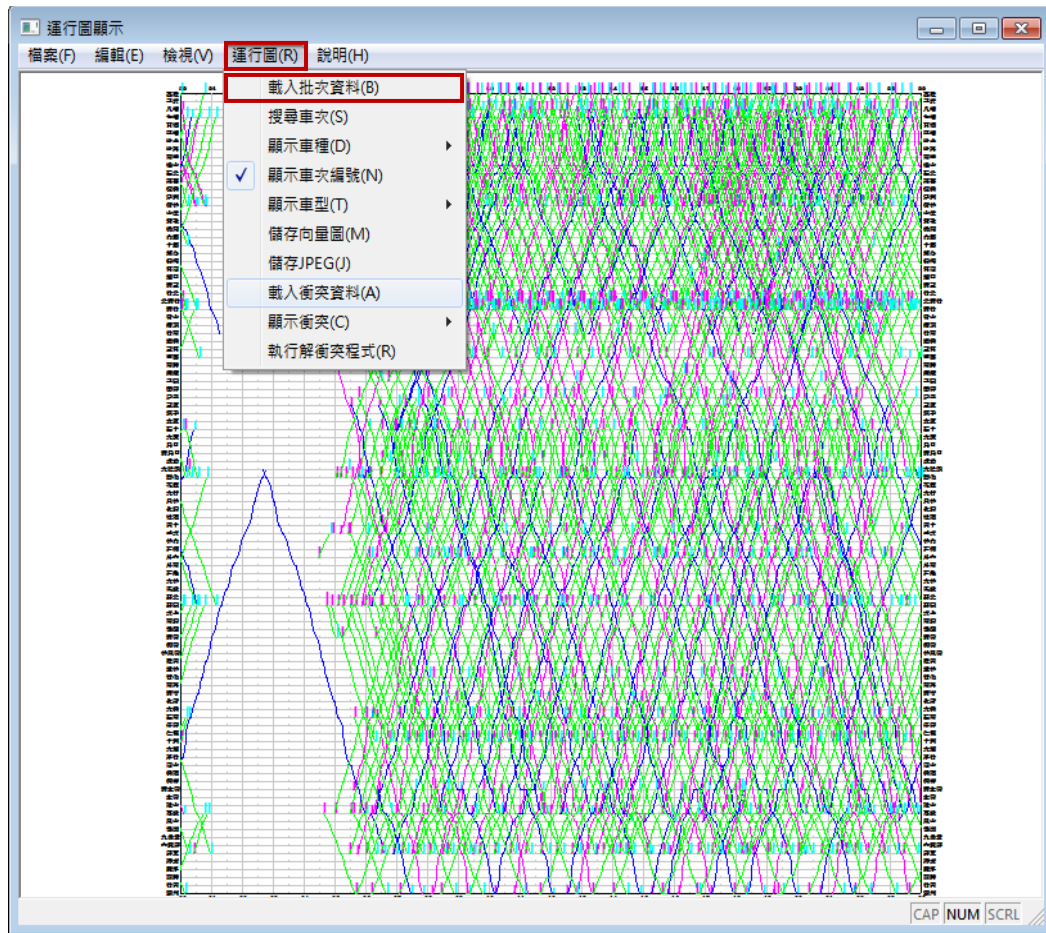


圖 E.35 載入衝突資料示意圖

(2)至網路磁碟機選擇對應的衝突檔。

若使用者於執行衝突檢查後，欲在運行圖上檢視衝突結果，需至指定網路磁碟機下的 TrainWorld 專區\ TRA_SolveConflict 目錄選擇載入 Conflict_after.xml。

若使用者於執行衝突排除後，欲在運行圖上檢視排除前後之衝突結果，需至指定網路磁碟機下的 TrainWorld 專區\ TRA_SolveConflict 目錄選擇與班表相對應的衝突檔 Conflict_before.xml(解衝突前)或 Conflict_after.xml(解衝突後)。

4. 檢視衝突資訊

(1) 點選介面上方的「運行圖」工具，再選擇「顯示衝突」選項，可勾選欲顯示的衝突類型。

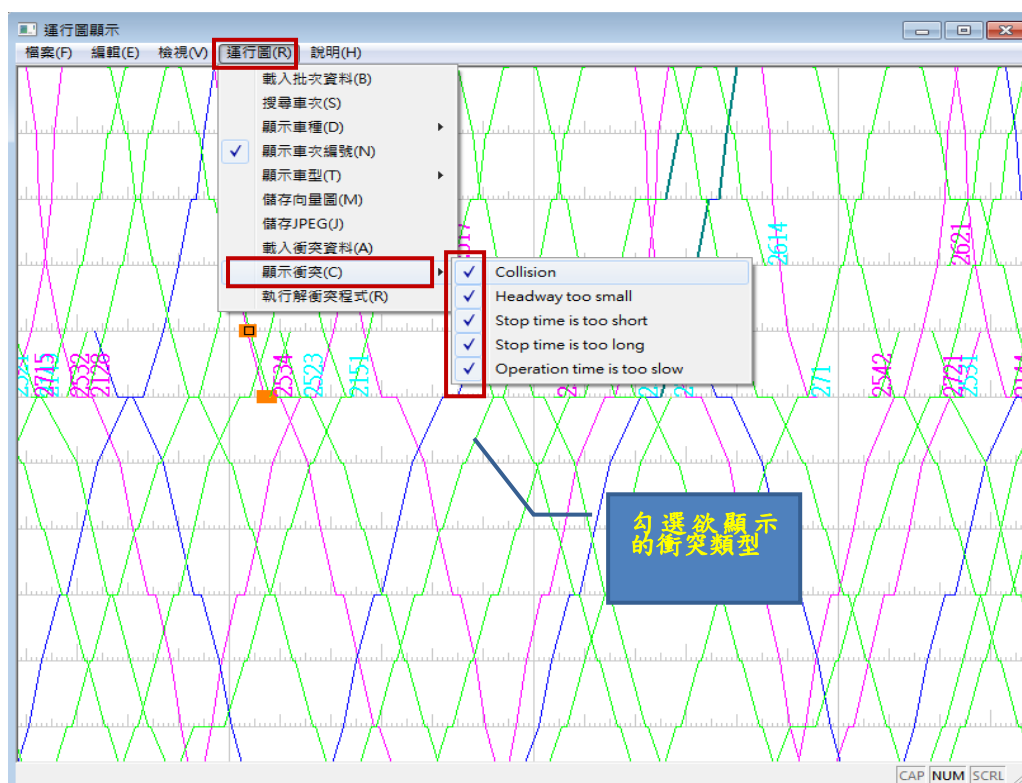


圖 E.36 勾選衝突類型示意圖

(2) 按住 Shift 鍵並使用滑鼠左鍵點選運行圖上一衝突，則可進一步檢視該衝突的詳細資訊。

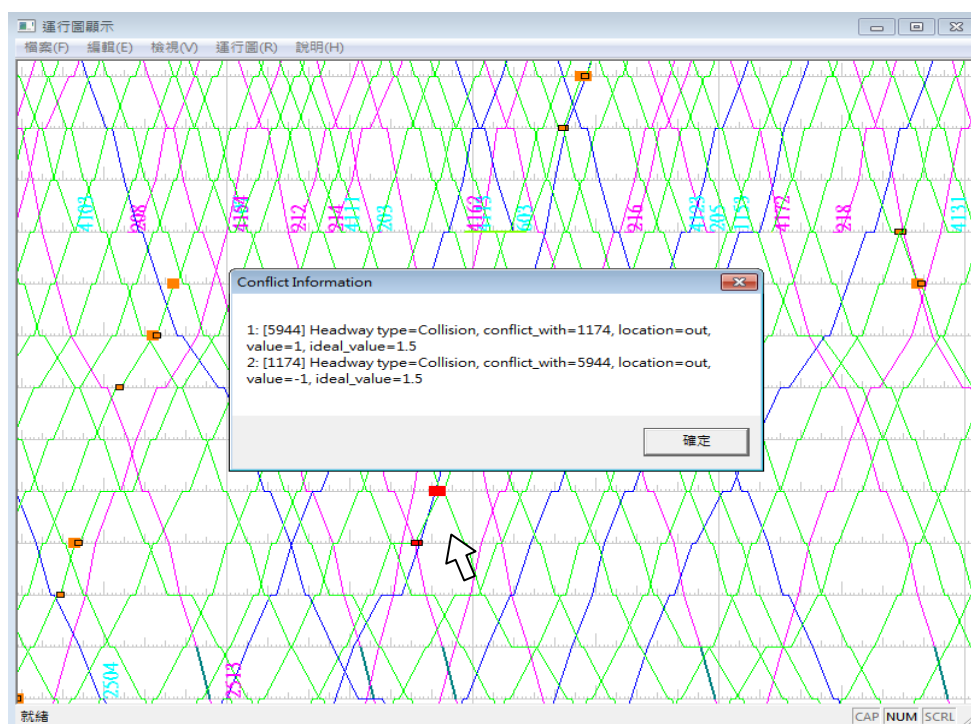


圖 E.37 檢視衝突資訊示意圖

班表管理功能

使用目的：

- 1.將「服務計畫功能」產生的理想班表匯入資料庫。
(使用操作步驟 1 接步驟 2)
- 2.由 RDSP 資料庫既有的班表中，擷取指定路段之班表。
(使用操作步驟 1 接步驟 3)
- 3.輸出使用者易讀的班表格式。
(使用操作步驟 1 接步驟 4)
- 4.手動編輯 RDSP 資料庫中既有的理想班表。
(使用操作步驟 1 接步驟 5)
- 5.刪除 RDSP 資料庫中已不需使用的班表。
(使用操作步驟 1 接步驟 6)

操作步驟：

5. 開啟「TrainWorld」功能表單，使用滑鼠左鍵在「班表管理」項目點兩下，進入班表管理的使用者介面。

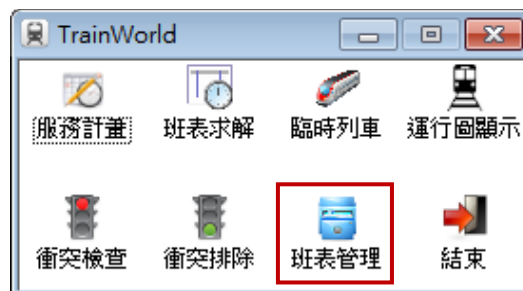


圖 E.38 TrainWorld 功能表單

6. 將「服務計畫功能」產生的理想班表匯入資料庫。

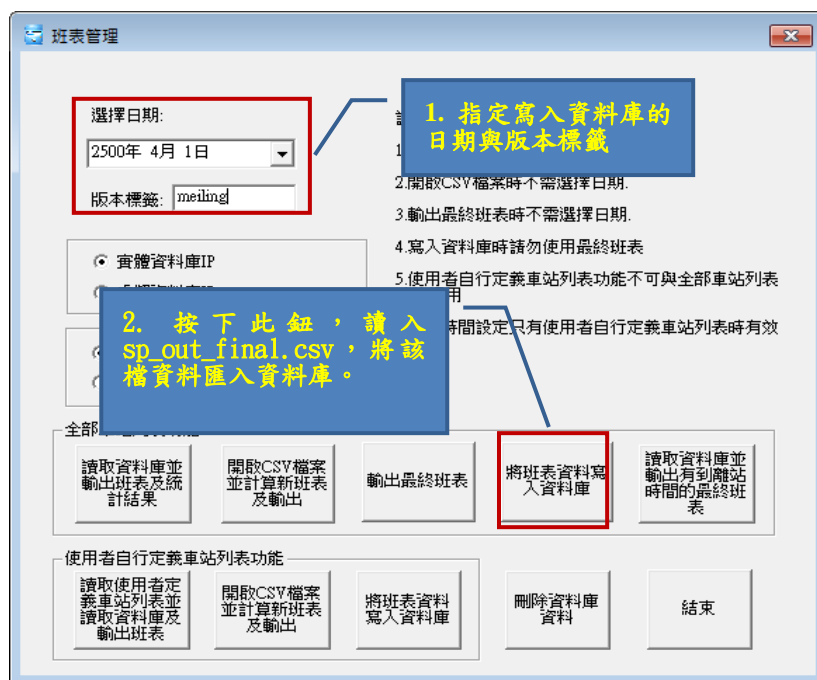


圖 E.39 匯入理想班表

7. 由 RDSP 資料庫既有的班表中，擷取指定路段之班表。

(1)讀取 RDSP 資料庫既有的班表，並將結果儲存至 TrainWorld\班表管理 目錄中。

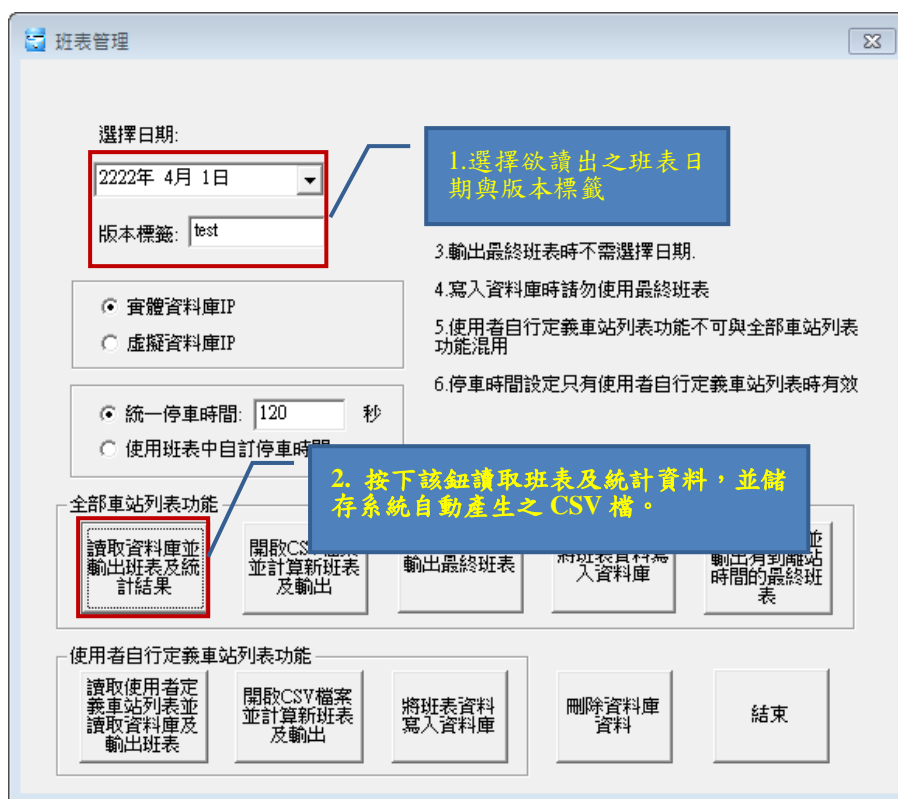


圖 E.40 讀取資料庫班表

(2)打開上一步在 TrainWorld\班表管理 目錄所儲存之

TrainList_XXXX-XX-XX.csv。擷取所需路段資料，其餘刪除。將擷取好的資料另存新檔(以下簡稱檔案 2)。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1					1	2	3	4	5	6	
2				車種	莒光	自強	自強	自強	自強	自強	自強
3				車次	1	101	102	105	106	107	
4				車型							
5				牽引種別	B特客甲A	PP	DMU	PP	PP	PP	PP
6				發車站	臺北	苗栗	新左營	七堵	嘉義	基隆	屏東
7				收車站	松山	高雄	臺南	高雄	七堵	高雄	屏東
8				發車時間	06:14:00	05:00:00	05:37:00	06:28:00	05:52:00	06:52:00	
9				收車時間	19:39:00	08:30:00	06:10:00	11:50:00	10:19:00	12:27:00	
10				車站	發車數	收車數					
11		10000	基隆	66	68					[B-1]06:52:00	
12		10013	三坑	0	0					[P-2]	
13		10060	七堵	50	48	[P-178]		[B-1]06:28:	[B-64]10:2	[B-4]07:04:	[B
14		10087	百福	0	0	[P-179]		[P-2]	[P-63]	[P-5]	[P
15		10117	五堵	0	0	[P-180]		[P-3]	[P-62]	[P-6]	[P
16		10131	汐止	0	0	[P-181]		[B-4]06:38:	[P-61]	[B-7]07:14:	[B
17		10146	汐科	0	0	[P-182]		[P-5]	[P-60]	[P-8]	[P
18		10191	南港	0	0	[P-183]		[P-6]	[P-59]	[P-9]	[P
19		10219	松山	0	1	[P		649:	[B-58]10:0	[B-10]07:2	[B
20		10283	臺北	4	2	[B		7:00:	[B-57]09:5	[B-11]07:3'	[B
21		10311	萬華	0	1	[P			[P-56]	[P-12]	
22		10355	板橋	0	0	[B		07:10	[B-55]09:4	[B-13]07:4'	[B
23		10380	浮洲	0	0	[P			[P-54]	[P-14]	
24		10409	樹林	2	3	[P-5]		[P-12]	[B-53]09:3	[B-15]07:5	[P
25		10421	樹調	45	44						
26		10448	山佳	0	0	[P-6]		[P-13]	[P-52]	[P-16]	[P
27		10492	鶯歌	0	0	[P-7]		[P-14]	[P-51]	[P-17]	[P
28		10574	桃園	0	0	[B-8]06:46:00		[B-15]07:3:	[B-50]09:1	[B-18]08:1:	[B
29		10633	內壢	0	0	[P-9]		[P-16]	[P-49]	[P-19]	[P

圖 E.41 資料擷取前

TrainList_2222-04-01 - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1				車種	莒光	1	2	3	4	5
2				車次	1	101	102	105	106	107
3				車型						
4				牽引種別	PP	PP	DMU	PP	PP	PP
5				發車站	臺北	苗栗	新左營	七堵	嘉義	基隆
6				收車站	松山	高雄	臺南	高雄	七堵	屏東
7				發車時間	06:14:00	05:00:00	05:37:00	06:28:00	05:52:00	06:52:00
8				收車時間	19:39:00	08:30:00	06:10:00	11:50:00	10:19:00	12:27:00
9										
10		車站	發車數	收車數						
11	10060	七堵	50	48	[P-178]			[B-1]06:28:	[B-64]10:2	[B-4]07:04:
12	10087	百福	0	0	[P-179]			[P-2]	[P-63]	[P-5]
13	10117	五堵	0	0	[P-180]			[P-3]	[P-62]	[P-6]
14	10131	汐止	0	0	[P-181]			[B-4]06:38:	[P-61]	[B-7]07:14:
15	10146	汐科	0	0	[P-182]			[P-5]	[P-60]	[P-8]
16	10191	南港	0	0	[P-183]			[P-6]	[P-59]	[P-9]
17	10219	松山	0	1	[P-184]			[B-7]06:49:	[B-58]10:0	[B-10]07:2
18	10283	臺北	4	2	[B-1]06:14:00			[B-8]07:00:	[B-57]09:5	[B-11]07:3
19	10311	萬華	0	1	[P-2]			[P-9]	[P-56]	[P-12]
20	10355	板橋	0	0	[B-3]06:24:00			[B-10]07:1	[B-55]09:4	[B-13]07:4
21	10380	浮洲	0	0	[P-4]			[P-11]	[P-54]	[P-14]
22	10409	樹林	2	3	[P-5]			[P-12]	[B-53]09:3	[B-15]07:5

圖 E.42 資料擷取後

(3) 重新統計並整理上步驟產生的檔案 2 資料，依下圖產生檔案 3 與檔案 4。

班表管理

選擇日期: 2222年 4月 1日

版本標籤: test

1. 輸入與步驟(1)相同的日期與版本標籤

3. 輸出最終班表時不需選擇日期。

4. 寫入資料庫時請勿使用最終班表

5. 使用者自行定義車站列表功能不可與全部車站列表功能同時使用

2. 選取此鈕讀入檔案 2 的資料，並將系統自動整理好的班表另存為檔案 3

全部車站列表功能

讀取資料庫並輸出班表及統計結果

開啟CSV檔案並計算新班表及輸出

輸出最終班表

將班表資料寫入資料庫

讀取資料庫並輸出有到離站時間的最终班表

使用者自行定義車站列表功能

讀取使用者定義車站列表並讀取資料庫及輸出班表

開啟CSV檔案並計算新班表及輸出

3. 選取此鈕讀入檔案 3 的資料，並將系統重新統計的班表另存為檔案 4

圖 E.43 重新統計並整理資料

(4) 將檔案 4 寫入資料庫中指定的位置，以後使用者便可由資料庫取用擷取好的班表。

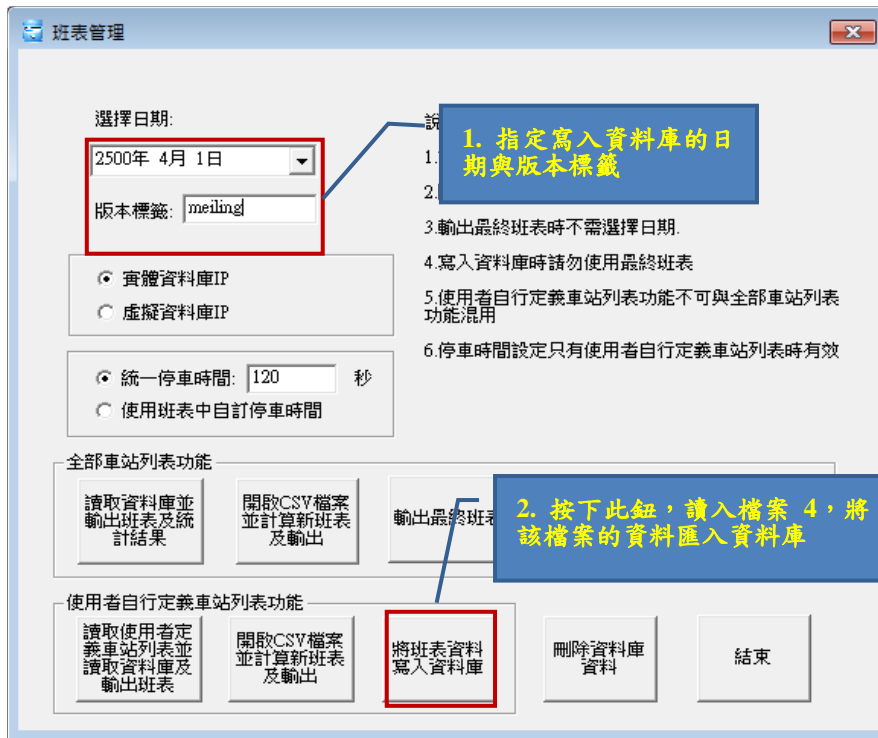


圖 E.44 擷取完成的班表匯入資料庫

8. 輸出使用者易讀的班表格式。

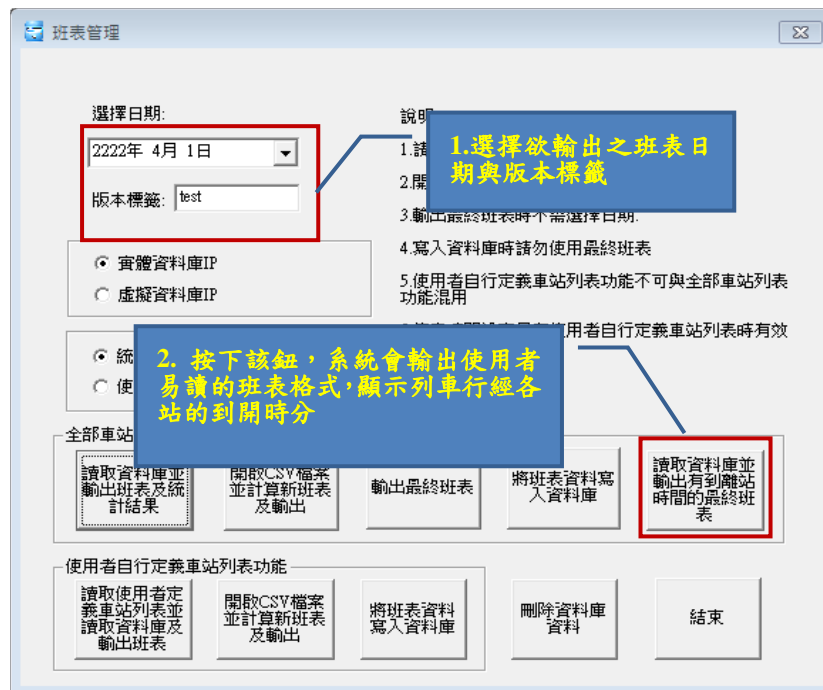


圖 E.45 輸出易讀的班表

9. 手動編輯 RDSP 資料庫中既有的理想班表。

(1)讀取 RDSP 資料庫既有的理想班表，並將結果儲存至 TrainWorld\班表管理 目錄中。

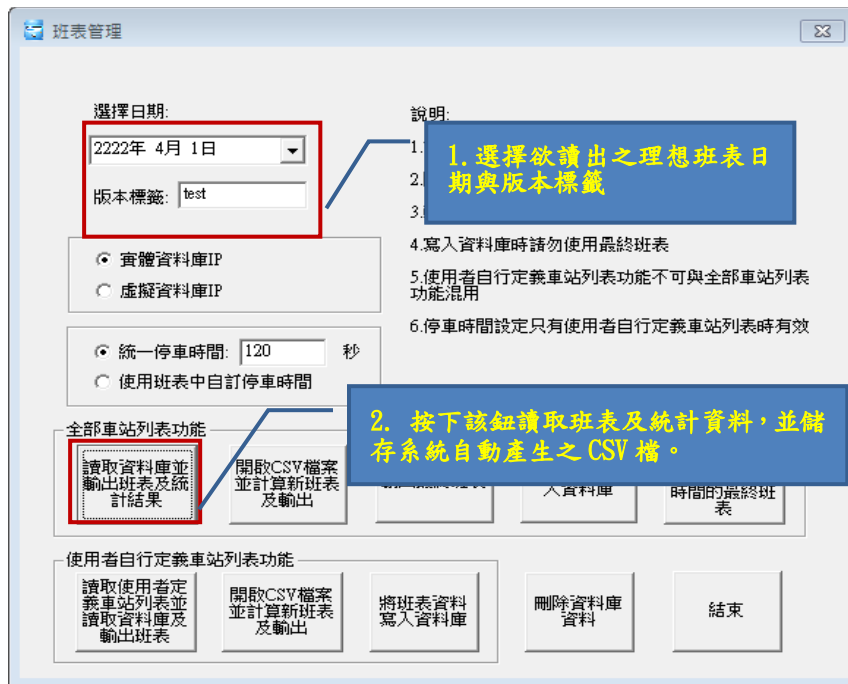


圖 E.46 讀取資料庫班表

(2)打開上一步在 TrainWorld\班表管理 目錄中所儲存之 TrainList_XXXX-XX-XX.csv。擷取所需路段之資料，其餘刪除。將擷取好的資料另存新檔(以下簡稱為檔案 5)。

TrainList_2222-04-01 - Microsoft Excel

檔案

常用

插入

版面配置

公式

資料

校閱

檢視

Acrobat

小組

?

☰

☰

貼上

剪貼簿

新細明體

12

B

I

U

A

A

字型

對齊方式

通用格式

\$

%

數值

樣式

插入

刪除

格式

儲存格

編輯

P20

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1				車種	莒光	1	2	3	4	5	6
2				車次		1	101	102	105	106	107
3				車型							
4				牽引種別	B特客甲A	PP	DMU	PP	PP	PP	PP
5				發車站	臺北	苗栗	新左營	七堵	嘉義	基隆	屏東
6				收車站	松山	高雄	臺南	高雄	七堵	高雄	七堵
7				發車時間	06:14:00	05:00:00	05:37:00	06:28:00	05:52:00	06:52:00	
8				收車時間	19:39:00	08:30:00	06:10:00	11:50:00	10:19:00	12:27:00	
9				收車數							
10		車站	發車數	收車數							
11	10000	基隆	66	68							[B-1]06:52:00
12	10013	三坑	0	0							[P-2]
13	10060	七堵	50	48 [P-178]				[B-1]06:28:00	[B-64]10:20:00	[B-4]07:04:00	[B-1]06:52:00
14	10087	百福	0	0 [P-179]				[P-2]	[P-63]	[P-5]	[P-1]
15	10117	五堵	0	0 [P-180]				[P-3]	[P-62]	[P-6]	[P-1]
16	10131	汐止	0	0 [P-181]				[B-4]06:38:00	[P-61]	[B-7]07:14:00	[B-1]06:52:00
17	10146	汐科	0	0 [P-182]				[P-5]	[P-60]	[P-8]	[P-1]
18	10191	南港	0	0 [P-183]					[P-59]	[P-9]	[P-1]
19	10219	松山	0	1 [P-184]				[B-7]06:49:00	[B-58]10:00:00	[B-10]07:20:00	[B-1]06:52:00
20	10283	臺北	4	2 [B-1]06:14:00				07:00:00	[B-57]09:50:00	[B-11]07:30:00	[B-1]06:52:00
21	10311	萬華	0	1 [P-2]					[P-56]	[P-12]	[P-1]
22	10355	板橋	0	0 [B-3]06:24:00				[B-10]07:14:00	[B-55]09:40:00	[B-13]07:40:00	[B-1]06:52:00
23	10380	浮洲	0	0 [P-4]				[P-11]	[P-54]	[P-14]	[P-1]
24	10409	樹林	2	3 [P-5]				[P-12]	[B-53]09:30:00	[B-15]07:50:00	[P-1]
25	10421	樹調	45	44							
26	10448	山佳	0	0 [P-6]				[P-13]	[P-52]	[P-16]	[P-1]
27	10492	鶯歌	0	0 [P-7]				[P-14]	[P-51]	[P-17]	[P-1]
28	10574	桃園	0	0 [B-8]06:46:00				[B-15]07:30:00	[B-50]09:10:00	[B-18]08:10:00	[P-1]
29	10633	內壢	0	0 [P-9]				[P-16]	[P-49]	[P-19]	[P-1]

就緒 80%

圖 E.47 資料擷取前

TrainList_2222-04-01 - Microsoft Excel

檔案 常用 插入 版面配置 公式 資料 校閱 檢視 Acrobat 小組 窗體 樣式 儲存格 編輯

新細明體 12 通用格式 樣式 儲存格 編輯

貼上 剪貼簿 字型 對齊方式 數值

J31

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1				車種	莒光	1	2	3	4	5	6
2				車次		1	101	102	105	106	107
3				車型							
4				牽引種別	B特客甲A	PP	DMU	PP	PP	PP	PP
5				發車站	臺北	苗栗	新左營	七堵	嘉義	基隆	屏東
6				收車站	松山	高雄	臺南	高雄	七堵	高雄	七堵
7				發車時間	06:14:00	05:00:00	05:37:00	06:28:00	05:52:00	06:52:00	
8				收車時間	19:39:00	08:30:00	06:10:00	11:50:00	10:19:00	12:27:00	
9				收車數							
10		車站	發車數	收車數							
11	10060	七堵	50	48 [P-178]				[B-1]06:28:00	[B-64]10:20:00	[B-4]07:04:00	[B-1]06:52:00
12	10087	百福	0	0 [P-179]				[P-2]	[P-63]	[P-5]	[P-1]
13	10117	五堵	0	0 [P-180]				[P-3]	[P-62]	[P-6]	[P-1]
14	10131	汐止	0	0 [P-181]				[B-4]06:38:00	[P-61]	[B-7]07:14:00	[B-1]06:52:00
15	10146	汐科	0	0 [P-182]				[P-5]	[P-60]	[P-8]	[P-1]
16	10191	南港	0	0 [P-183]				[P-6]	[P-59]	[P-9]	[P-1]
17	10219	松山	0	1 [P-184]				[B-7]06:49:00	[B-58]10:00:00	[B-10]07:20:00	[B-1]06:52:00
18	10283	臺北	4	2 [B-1]06:14:00				07:00:00	[B-57]09:50:00	[B-11]07:30:00	[B-1]06:52:00
19	10311	萬華	0	1 [P-2]				[P-9]	[P-56]	[P-12]	[P-1]
20	10355	板橋	0	0 [B-3]06:24:00				[B-10]07:14:00	[B-55]09:40:00	[B-13]07:40:00	[B-1]06:52:00
21	10380	浮洲	0	0 [P-4]				[P-11]	[P-54]	[P-14]	[P-1]
22	10409	樹林	2	3 [P-5]				[P-12]	[B-53]09:30:00	[B-15]07:50:00	[P-1]
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											

就緒 80%

圖 E.48 資料擷取後

(3) 重新統計並整理上步驟產生的檔案 5 資料，依下圖產生檔案 6 與檔案 7。

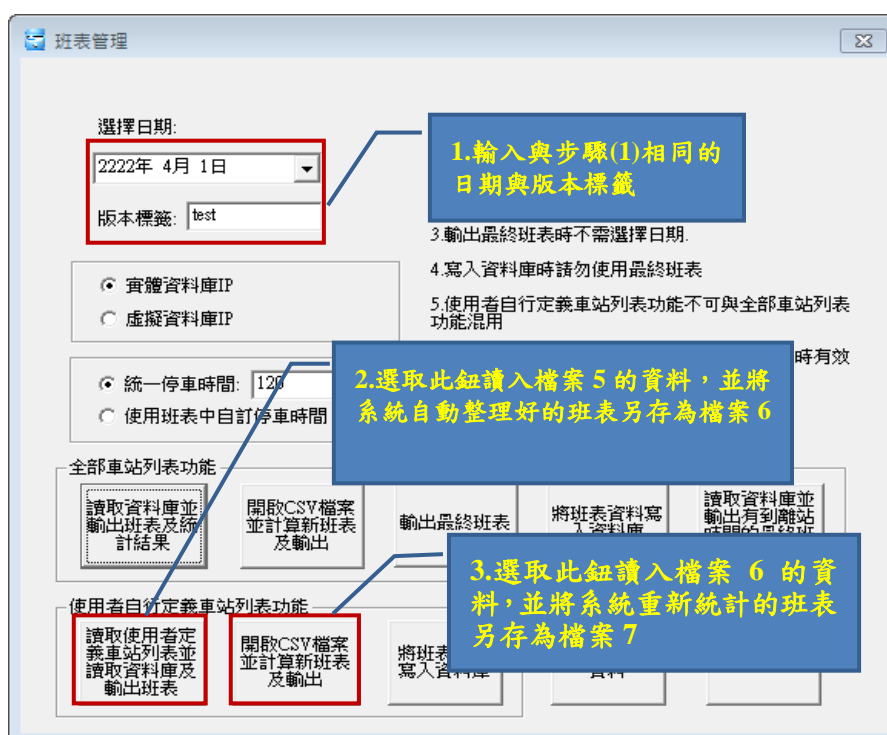


圖 E.49 重新統計並整理資料

(4) 打開檔案 7 編輯理想班表資料，可手動新增/刪減車次，或是修改車次行程，完成後另存為檔案 8。再利用介面按鈕重新統計整理為檔案 9。

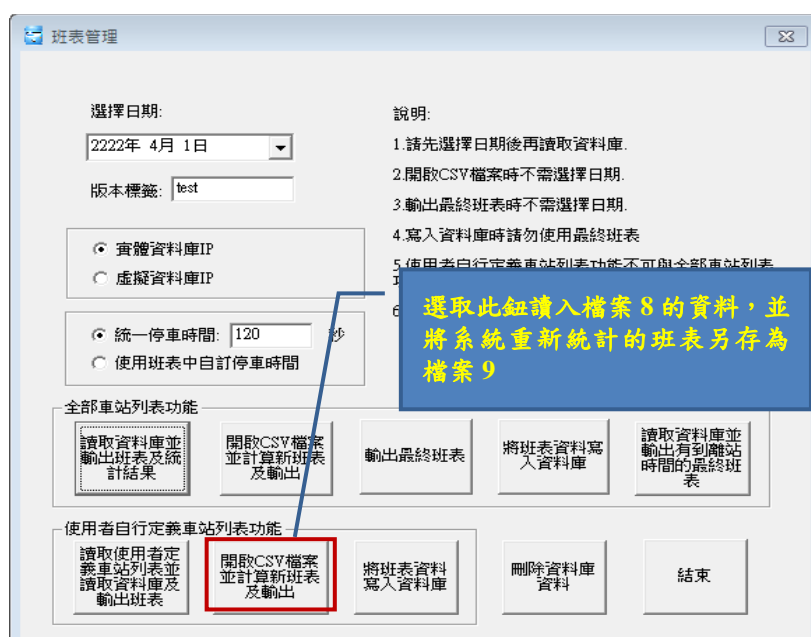


圖 E.50 重新統整手動編修之理想班表

(5) 將檔案 9 寫入資料庫中指定的位置，以後使用者便可由資料庫取用該理想班表。

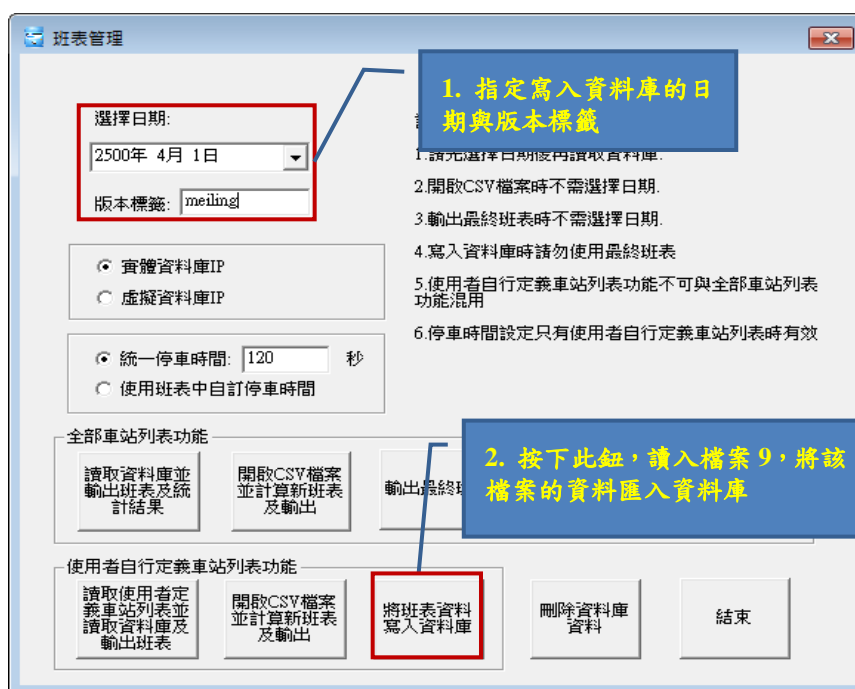


圖 E.51 編輯完成的理想班表寫入資料庫

10. 刪除 RDSP 資料庫中已不需使用的班表。

(1) 在班表管理介面上點選「刪除資料庫資料」，進入刪除資料庫資料的使用者介面。

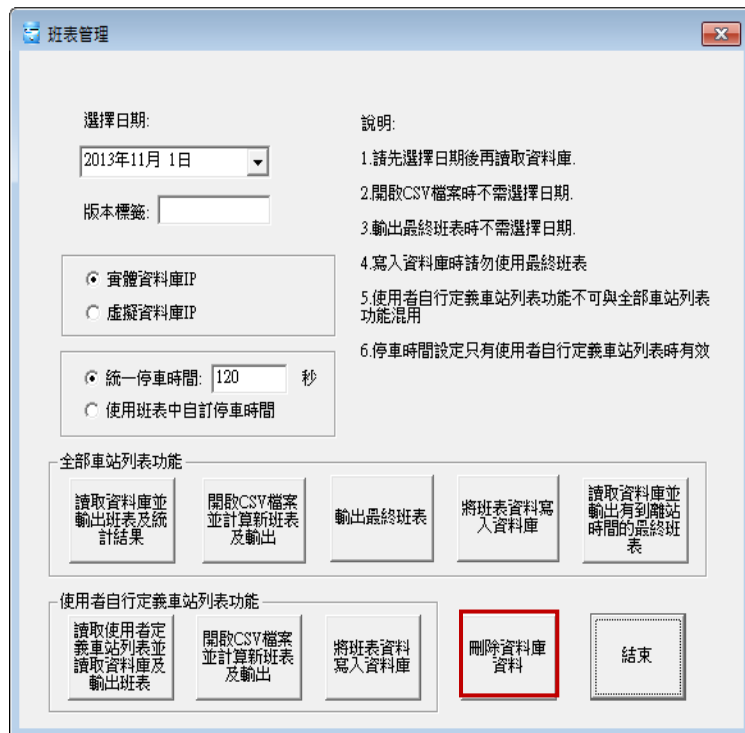


圖 E.52 刪除資料庫資料 1

(2)輸入欲刪除的班表日期與版本標籤，再按下「確定」鈕，即可刪除 RDSP 資料庫中的該筆資料。此外，本介面有批次執行功能，如果僅填寫年份與月份，程式便會將該月份之資料全數清除，因此使用者在使用時需格外小心。



圖 E.53 刪除資料庫資料 2

其他文件說明

文件說明 1 - 服務計畫與車次樣板檔 (sp_in.csv)

使用目的：根據需求製作車次樣板及服務計畫。

文件內容：

1. 車站列表：該檔以 Excel 軟體打開後，第 A、B 行為 RDSP 資料庫中所有的車站列表。
2. 車次樣板：該檔以 Excel 軟體打開後，自第 E 行開始，每一行資料即是一個車次樣板。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1					1	2	3	4	5	6	7	8
2				車種	太魯閣	太魯閣	太魯閣	太魯閣	自強	自強	自強	自強
3				車次	1	2	3	4	5	6	7	8
4				車型	TEMU	TEMU	TEMU	TEMU	EMU	PP	PP	PP
5				牽引種別	TEMU	TEMU	TEMU	TEMU	EMU	PP	PP	PP
6				發車站	田中	花蓮	花蓮	花蓮	七堵	七堵	七堵	七堵
7				收車站	花蓮	新竹	彰化	樹調	斗南	屏東	屏東	高雄
8				發車時間	07:02:00	14:30:00	10:35:00	22:05:00	09:56:00	09:28:00	11:28:00	06:28:00
9				收車時間	11:30:00	17:38:00	14:54:00	00:39:00	14:03:00	15:15:00	17:25:00	11:50:00
10				最少	1	1	1	1	1	1	1	1
11				最多	2	2	2	5	3	5	4	4
12				權重	8	1	5	8	5	8	4	8
13				參數	60;5	30;3						
14				車站	發車數	收車數						
15	10000	基隆	66	68								
16	10013	三坑	0	0								
17	10060	七堵	50	47	[B-53]09:4	[P-39]	[B-39]12:2	[P-39]	[B-1]09:56	[B-1]09:28	[B-1]11:28	[B-1]06:28
18	10087	百福	0	0	[P-52]	[P-40]	[P-40]	[P-40]	[P-2]	[P-2]	[P-2]	[P-2]
19	10117	五堵	0	0	[P-51]	[P-41]	[P-41]	[P-41]	[P-3]	[P-3]	[P-3]	[P-3]
20	10131	汐止	0	0	[P-50]	[P-42]	[P-42]	[P-42]	[B-4]10:07	[B-4]09:38	[B-4]11:38	[B-4]06:38
21	10146	汐科	0	0	[P-49]	[P-43]	[P-43]	[P-43]	[P-5]	[P-5]	[P-5]	[P-5]
22	10191	南港	0	0	[P-48]	[P-44]	[P-44]	[P-44]	[P-6]	[P-6]	[P-6]	[P-6]
23	10219	松山	0	1	[B-47]09:2	[B-45]16:2	[B-45]12:3	[B-45]24:0	[B-7]10:19	[B-7]09:49	[B-7]11:49	[B-7]06:49
24	10283	臺北	4	2	[B-46]09:2	[B-46]16:3	[B-46]12:5	[B-46]24:1	[B-8]10:30	[B-8]10:00	[B-8]12:00	[B-8]07:00
25	10311	萬華	0	1	[P-45]	[P-47]	[P-47]	[P-47]	[P-9]	[P-9]	[P-9]	[P-9]
26	10355	板橋	0	0	[B-44]09:0	[B-48]16:4	[B-48]12:5	[B-48]24:2	[B-10]10:4	[B-10]10:1	[B-10]12:1	[B-10]07:1
27	10380	浮洲	0	0	[P-43]	[P-49]	[P-49]	[P-49]	[P-11]	[P-11]	[P-11]	[P-11]
28	10409	樹林	2	3	[P-42]	[B-50]16:5	[P-50]	[B-50]24:3	[P-12]	[P-12]	[P-12]	[P-12]
29	10421	樹調	48	47				[P-51]				

圖 E.54 車站列表與車次樣板

3. 列車到站任務設定：若列車會行經某車站，則使用者需在儲存格內設定該列車在該站的到站任務。到站任務分為 P 與 B 兩種，其中 P 為過站不停，B 為停車載客。若到站任務為 B，則後面需標示列車在該站的理想離站時間。
4. 到站順序設定：在到站任務後以「-」連接之數字即為列車到站之順序。

圖 E.55 到站任務與順序設定

5. 設定發車時間與發車頻率：

在發車時間欄位可決定該樣板車次的發車時間，在參數欄位則可決定該樣板車次的發車頻率與車次數量。設定時，發車頻率與車次數量參數請以分號隔開。如圖，發車時間設定為「07:02:00」、參數設定為「60;5」，表示從上午 07:02 開始，每隔 60 分鐘就分別從田中跟花蓮對開 1 班行程相同的列車，一共對開 5 班。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1				車種	太魯閣	太魯閣	太魯閣	太魯閣	自強	自強	自強	自強
2				車次	1	2	3	4	5	6	7	8
3				車型	TEMU	TEMU	TEMU	TEMU	EMU	PP	PP	PP
4				牽引種別	TEMU	TEMU	TEMU	TEMU	EMU	PP	PP	PP
5				發車站	田中	花蓮	花蓮	花蓮	七堵	七堵	七堵	七堵
6				收車站	花蓮	新竹	彰化	樹調	斗南	屏東	屏東	高雄
7				發車時間	07:02:00	14:30:00	10:35:00	22:05:00	09:56:00	09:28:00	11:28:00	06:28:00
8				收車時間	11:30:00	17:38:00	14:54:00	00:39:00	14:03:00	15:15:00	17:25:00	11:50:00
9				最少	1	1	1	1	1	1	1	1
10				最多	2	2	2	5	3	5	4	4
11				權重	8	1	5	8	5	8	4	8
12				參數	60;5	30;3						
13				車站	發車數	收車數						
14				發車數	收車數							
15	10000	基隆	66	68								
16	10013	三坑	0	0								
17	10060	七堵	50	47	[B-53]09:42	[P-39]	[B-39]12:22	[P-39]	[B-1]09:56	[B-1]09:28	[B-1]11:28	[B-1]06:28
18	10087	百福	0	0	[P-52]	[P-40]	[P-40]	[P-40]	[P-2]	[P-2]	[P-2]	[P-2]
19	10117	五堵	0	0	[P-51]	[P-41]	[P-41]	[P-41]	[P-3]	[P-3]	[P-3]	[P-3]
20	10131	汐止	0	0	[P-50]	[P-42]	[P-42]	[P-42]	[B-4]10:07	[B-4]09:38	[B-4]11:38	[B-4]06:38
21	10146	汐科	0	0	[P-49]	[P-43]	[P-43]	[P-43]	[P-5]	[P-5]	[P-5]	[P-5]
22	10191	南港	0	0	[P-48]	[P-44]	[P-44]	[P-44]	[P-6]	[P-6]	[P-6]	[P-6]
23	10219	松山	0	1	[B-47]09:27	[B-45]16:24	[B-45]12:39	[B-45]24:00	[B-7]10:19	[B-7]09:49	[B-7]11:49	[B-7]06:49
24	10283	臺北	4	2	[B-46]09:20	[B-46]16:33	[B-46]12:50	[B-46]24:11	[B-8]10:30	[B-8]10:00	[B-8]12:00	[B-8]07:00
25	10311	萬華	0	1	[P-45]	[P-47]	[P-47]	[P-47]	[P-9]	[P-9]	[P-9]	[P-9]
26	10355	板橋	0	0	[B-44]09:08	[B-48]16:44	[B-48]12:51	[B-48]24:22	[B-10]10:40	[B-10]10:10	[B-10]12:10	[B-10]07:10
27	10380	浮洲	0	0	[P-43]	[P-49]	[P-49]	[P-49]	[P-11]	[P-11]	[P-11]	[P-11]
28	10409	樹林	2	3	[P-42]	[B-50]16:50	[P-50]	[B-50]24:30	[P-12]	[P-12]	[P-12]	[P-12]
29	10421	樹調	48	47				[P-51]				

圖 E.56 發車時間與頻率設定

6. 設定最少與最多插入班次以及權重值：

使用者若無設定發車頻率參數，則系統會依使用者允許之最少與最多插入車次數在理想班表內自由插入車次。例如使用者將最少與最多車次數分別設定為 1 與 5，則系統會自動在理想班表內對開 1 至 5 班相同車種、相同行程的列車。權重值則表示該種列車的重要性，權重愈大則系統會盡可能在理想班表插入愈多的班次。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1					1	2	3	4	5	6	7	8
2				車種	太魯閣	太魯閣	太魯閣	太魯閣	自強	自強	自強	自強
3				車次	1	2	3	4	5	6	7	8
4				車型	TEMU	TEMU	TEMU	TEMU	EMU	PP	PP	PP
5				牽引種別	TEMU	TEMU	TEMU	TEMU	EMU	PP	PP	PP
6				發車站	田中	花蓮	花蓮	花蓮	七堵	七堵	七堵	七堵
7				收車站	花蓮	新竹	彰化	樹調	斗南	屏東	屏東	高雄
8				發車時間	07:02:00	14:30:00	10:35:00	22:05:00	09:56:00	09:28:00	11:28:00	06:28:00
9				收車時間	11:30:00	17:38:00	14:54:00	00:39:00	14:03:00	15:15:00	17:25:00	11:50:00
10				最少	1	1	1	1	1	1	1	1
11				最多	2	2	2	5	3	5	4	4
12				權重	8	1	5	8	5	8	4	8
13				參數	60;5	30;3						
14		車站	發車數	收車數								
15	10000	基隆	66	68								
16	10013	三坑	0	0								
17	10060	七堵	50	47	[B-53]09:42	[P-39]	[B-39]12:22	[P-39]	[B-1]09:56	[B-1]09:28	[B-1]11:28	[B-1]06:28
18	10087	百福	0	0	[P-52]	[P-40]	[P-40]	[P-40]	[P-2]	[P-2]	[P-2]	[P-2]
19	10117	五堵	0	0	[P-51]	[P-41]	[P-41]	[P-41]	[P-3]	[P-3]	[P-3]	[P-3]
20	10131	汐止	0	0	[P-50]	[P-42]	[P-42]	[P-42]	[B-4]10:07	[B-4]09:38	[B-4]11:38	[B-4]06:38
21	10146	汐科	0	0	[P-49]	[P-43]	[P-43]	[P-43]	[P-5]	[P-5]	[P-5]	[P-5]
22	10191	南港	0	0	[P-48]	[P-44]	[P-44]	[P-44]	[P-6]	[P-6]	[P-6]	[P-6]
23	10219	松山	0	1	[B-47]09:27	[B-45]16:22	[B-45]12:33	[B-45]24:00	[B-7]10:19	[B-7]09:49	[B-7]11:49	[B-7]06:49
24	10283	臺北	4	2	[B-46]09:20	[B-46]16:33	[B-46]12:51	[B-46]24:11	[B-8]10:30	[B-8]10:00	[B-8]12:00	[B-8]07:00
25	10311	萬華	0	1	[P-45]	[P-47]	[P-47]	[P-47]	[P-9]	[P-9]	[P-9]	[P-9]
26	10355	板橋	0	0	[B-44]09:06	[B-48]16:44	[B-48]12:55	[B-48]24:22	[B-10]10:44	[B-10]10:14	[B-10]12:14	[B-10]07:14
27	10380	浮洲	0	0	[P-43]	[P-49]	[P-49]	[P-49]	[P-11]	[P-11]	[P-11]	[P-11]
28	10409	樹林	2	3	[P-42]	[B-50]16:55	[P-50]	[B-50]24:33	[P-12]	[P-12]	[P-12]	[P-12]
29	10421	樹調	48	47				[P-51]				

圖 E.57 設定允許之最少與最多車次數

7. 此文件設定完成後，即可接續使用服務計畫功能，產生合適的理想班表。

文件說明 2 - 路線設定檔 (運行圖顯示\Batch.txt)

使用目的：設定各路線對應之車站列表及其他繪製運行圖設定。

文件內容：

1. 每一筆設定都由一個路線名稱、車種數量、各車種名稱及其對應的繪圖類型、路線上的車站總數、以及沿途所有的車站名稱所組成。

2. 設定範例：

西部幹線,3,自強,1,莒光,1,區間,1,102,基隆,三坑,八堵,七堵,百福,五堵,汐止,汐科,南港,松山,臺北,萬華,板橋,浮洲,樹林,樹調,山佳,鶯歌,桃園,內壢,中壢,埔心,楊梅,富岡,湖口,新豐,竹北,北新竹,新竹,香山,崎頂,竹南,造橋,豐富,苗栗,南勢,銅鑼,三義,泰安,后里,豐原,潭子,太原,臺中,大慶,烏日,新烏日,成功,大肚溪,彰化,花壇,大村,員林,永靖,社頭,田中,二水,林內,石榴,斗六,斗南,石龜,大林,民雄,嘉北,嘉義,水上,南靖,後壁,新營,柳營,林鳳營,隆田,拔林,善化,南科,新市,永康,大橋,臺南,保安,仁德,中洲,大湖,路竹,岡山,橋頭,楠梓,新左營,左營,鼓山,高雄,鳳山,後庄,九曲堂,六塊厝,屏東,歸來,麟洛,西勢,竹田,潮州

附錄D 期末簡報

鐵路列車自動化排點系統建置之研究

MOTC-IOT-102-EBB005

期末審查會議

財團法人成大研究發展基金會

陳春益、李宇欣、林東盈、李威勳

102年12月4日



報告內容

一、計畫背景

二、自動排點技術發展歷程

三、自動排點核心技術概述

四、軟體設計

五、自動化排點系統功能

六、自動化排點系統之實務應用

七、結論與後續研究發展

一、計畫背景

計畫緣起

- 交通部為提升鐵路系統營運效率辦理之先導研究。
- 排點為營運規製作業最核心的工作之一。
- 為運研所多年來系統性進行之研究。

計畫目的

- 建置鐵路列車自動化排點系統雛型。
- 整合多年發展之多項核心技術，實作成為完全共容，以相同之資料平台進行資訊交換之程式群組。

計畫重要性

- 為臺灣系統列車排點自動化推動過程中重要之一環。
- 本計畫之成果將成為技術發展之重要里程碑。

主要成果



鐵路列車自動化排點系統雛型



相關文件

- 研究報告書。
- 使用手冊。

二、自動排點技術發展歷程

臺鐵局之自動排點發展歷程

- 電腦化：以電腦作業取代紙本作業。
- 自動化：建立電腦化的工作環境。

運研所之自動排點發展歷程

- 核心技術發展
- 實務參數蒐集
- 實作技術發展

計畫重要性

- 為臺鐵系統列車排點自動化推動過程中重要之一環。
- 本計畫之成果將成為技術發展之重要里程碑。



三、自動排點核心技術概述

服務計畫自動化與最佳化

列車排點文獻回顧

對號列車之配位

自動排點數學模式

服務計畫與配位數學模式

班表衝突檢查與排除

運轉資源需求評估

臨時列車之排點

廣義列車排點問題

資料庫

列車排點概述

軟體技術

三、核心技術： 服務計畫自動化與最佳化

服務計畫之目的

- 針對運輸需求而提供適時適量適質的鐵路運輸服務。
- 考慮鐵路各車站之間，分起迄點、分時、分車種之需求量。
- 產出：理想班表。

服務計畫之內容

- 每日所擬開行之車次及其停站模式。
- 每一車次之始發站、終點站、與中間所停靠之各車站。
- 各車次之車型、始發時間、牽引種別。

服務計畫與配位

- 對號車運輸能力之決定性因素。

三、核心技術： 服務計畫自動化與最佳化

數學模式

- 混合整數規畫MIP模式。
- 求解所開行之車次、各車次之始發時間、行程、停站模式、以及車上之配位計畫。
- 考慮分時起迄需求、路線容量、編組行程之對稱性。

啟發式解法

- 近似column generation概念。
- 產生多數候選車次。
- 選取少量進入MIP求解。
- 每回合置換部份候選車次。

三、核心技術：運轉資源需求評估

運轉資源

- 人：乘務人員
- 車：車輛編組
- 路：軌道-時間

評估目的

- 早期發現服務計畫可能之資源不足。
- 早期修正提高工作效率。

評估方法

- 統計服務計畫之總載客行駛時數、各型車輛之總運行里程、各站間路段之總通過列次數。

三、核心技術：列車排點

廣義列車排點

營運策略



服務計畫



理想班表



運轉計畫

列車排點

- 將可用軌道時間適當分配予各車次。
- 遵守物理定律、行車規章、運轉需求。

文獻回顧

- 國內外文獻甚多。
- 具實用能力者甚少。

41

三、核心技術：列車排點

問題本質

- 連續量：行點
- 離散量：順序

數學模式

- 股道分配模式：雙元整數模式。
- 行點模式：線性規畫模式。

求解策略

- 啟發式解法。
- 回合演算逐步改善收斂。

42

三、核心技術：衝突檢查與排除

班表衝突之分類

- 第一類：無法以調整行點排除，必須調整股道分配或列車順序。
- 第二-四類：可調整行點排除。

衝突檢查

- 須先分配股道。
- 檢查之技術難度不高。

衝突排除

- 第一類：使用班表求解模組。
- 第二-四類：使用衝突排除模組。

43

三、核心技術：臨時列車排點

臨時列車概觀

- 在背景班表中加入新增列次。
- 團體申請、節日加開、內部需求。
- 比例不高但排點耗費大量人力資源。

核心模式

- 背景班表分配股道。
- 利用股道分配模式建立最短路徑模型。

44

三、核心技術：資料庫與軟體技術

資料庫

- RDSP: Railway Decision Support Platform

軟體技術

- SOA: Service Oriented Architecture

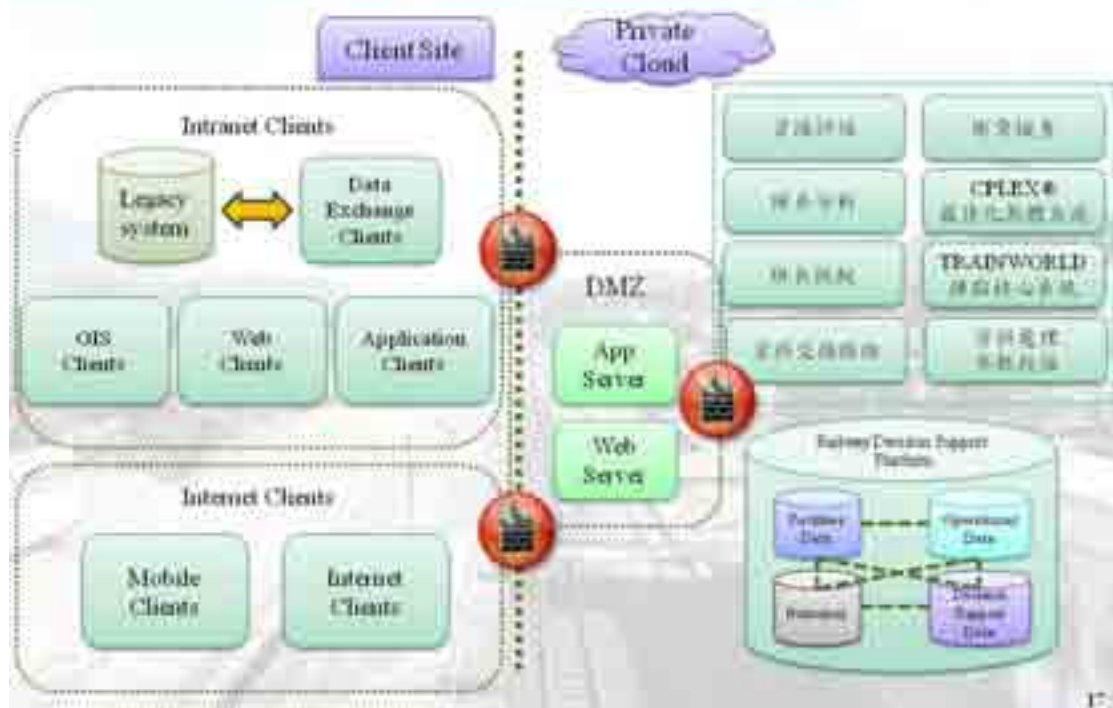
15

四、軟體設計： 雲端化排點系統軟體架構

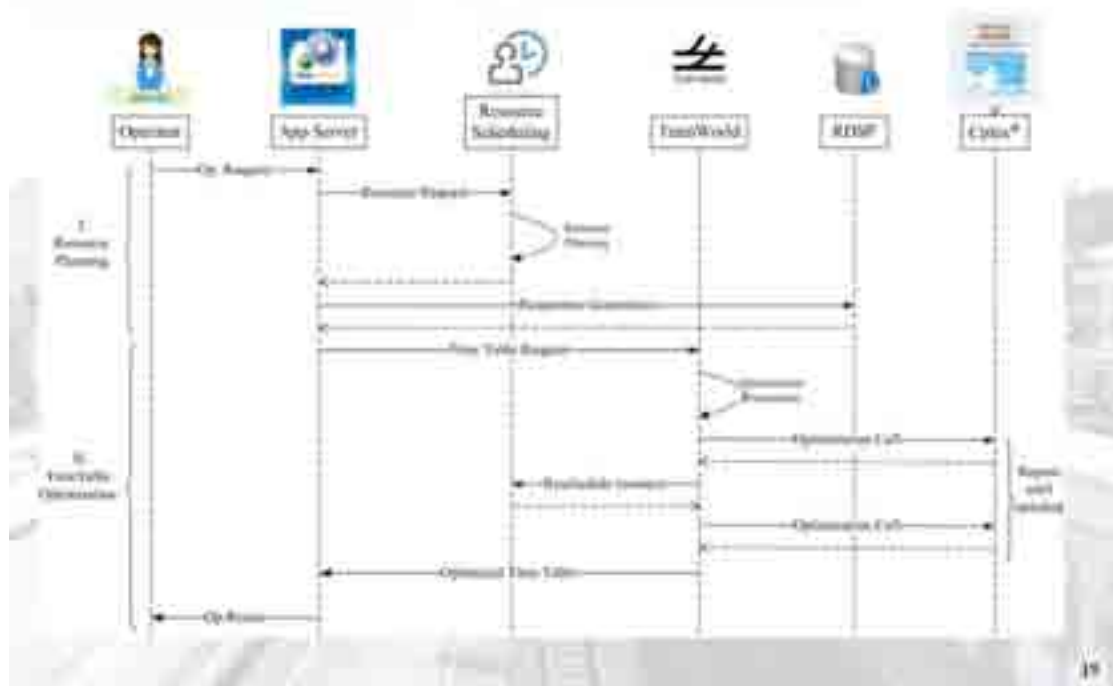


16

長期目標：鐵路決策支援資料平台雲端架構

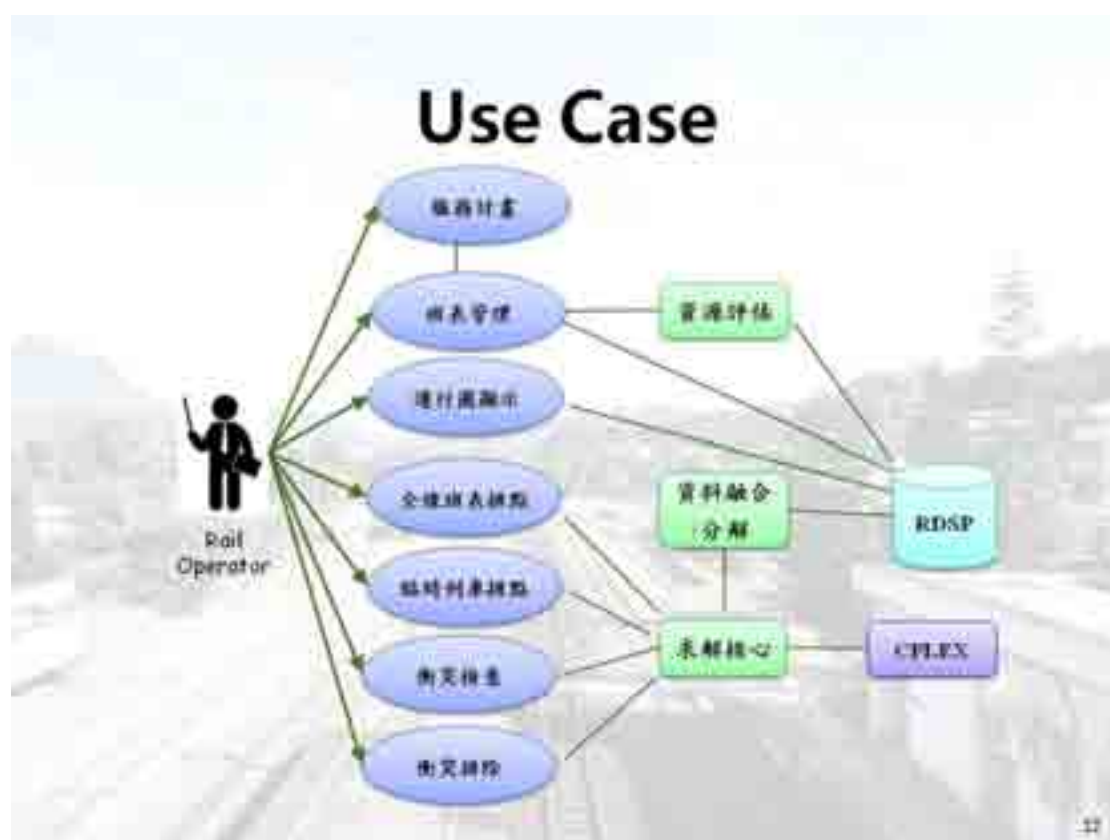
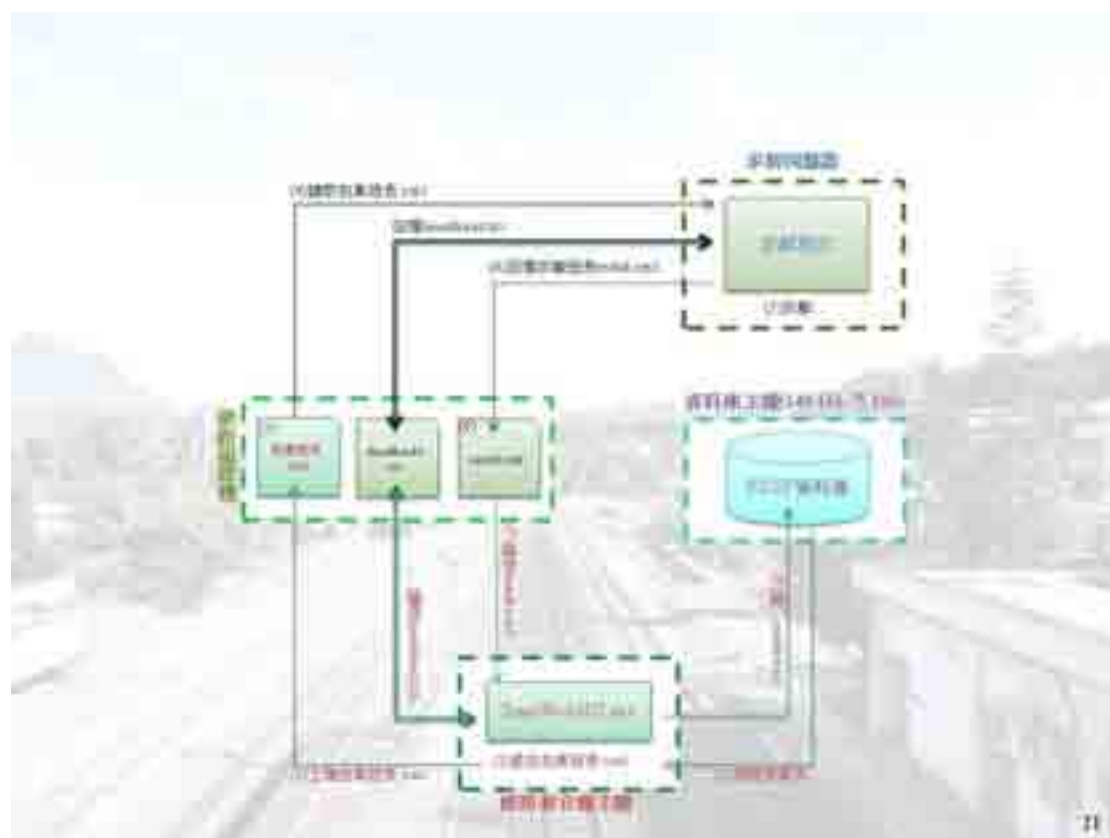


排點系統軟體運作流程



SOA架構之系統整體設計





五、自動化排點系統功能

服務計畫功能

衝突排除功能

班表求解功能

運行圖顯示功能

臨時列車功能

班表管理功能

衝突檢查功能

23

五、系統功能：服務計畫



24

五、系統功能：班表求解

自RDSP取得理想班表

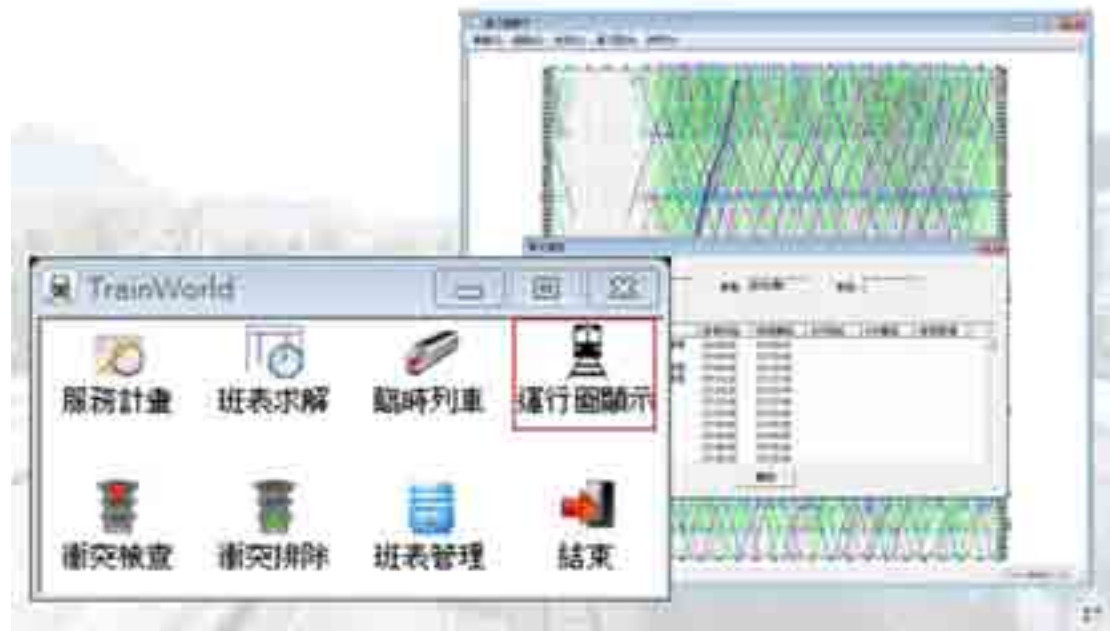
求解後匯回RDSP



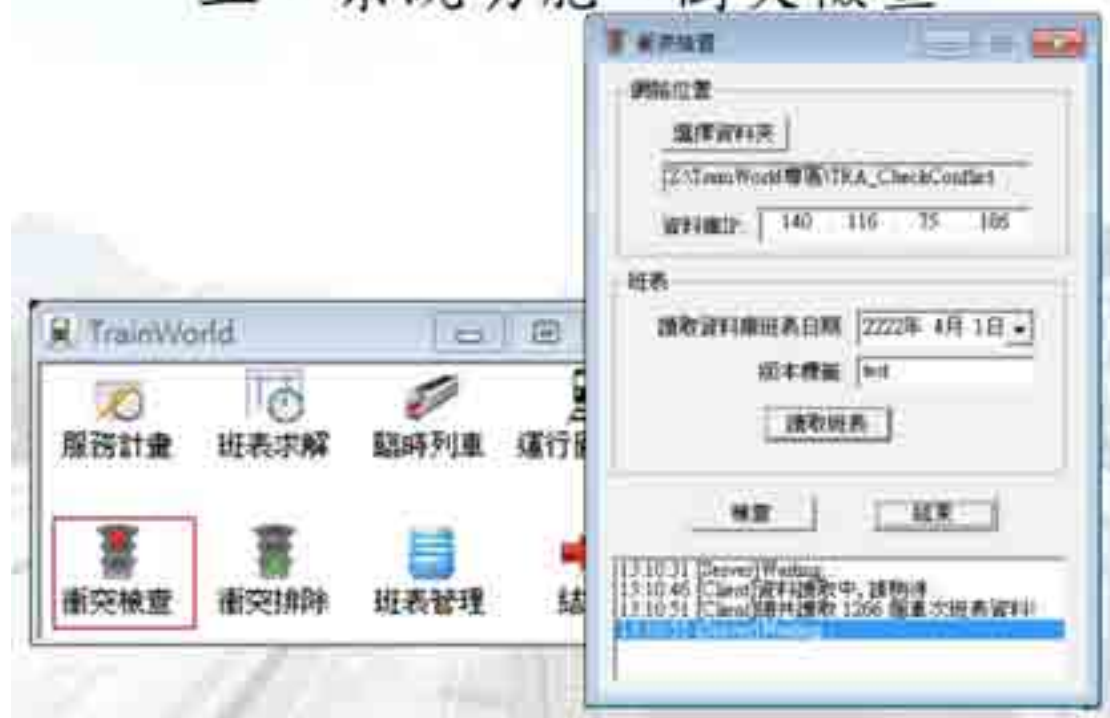
五、系統功能：臨時列車



五、系統功能：運行圖顯示



五、系統功能：衝突檢查



五、系統功能：衝突排除



五、系統功能：班表管理



六、自動化排點系統之實務應用

排點輔助

- 臨時列車排點。
- 路線慢行或封鎖因應及影響評估。
- 軌道設施變動因應及影響評估。
- 車隊調整因應及影響評估。
- 事故因應。

鐵路投資方案評估

- 新線、新站、路線車站改善、購車計畫、營運策略調整等。
- 目前方案評估以工程面為主。
- 方案分析時必須考慮各方案支持運轉之能力。
- 本系統有助在各種情境及方案下預見未來可能班表，從而評估比較各種方案所能提供之運轉能力。

34

七、結論與後續研究發展

結論

- 本研究整合RDSP及多項技術完成自動排點系統雛型。

自動排點系統展望

- 核心技術已完成，距上線僅一步之遙。
- 與現有系統無縫界接。
- 融入臺鐵現有作業模式。
- 軟體功能之補充與強化。

上線後未來展望

- 資料平台之後續發展。
- 班表求解核心之後續發展。
- 軟體功能之後續發展。
- 軟體架構之後續發展。
- 鐵路投資方案評估輔助系統。
- 國際化發展。

35

鐵路列車自動化排點系統建置之研究

MOTC-IOT-102- EBB005

期末審查會議

財團法人成大研究發展基金會

陳春益、李宇欣、林東盈、李威勳

102年12月4日

謝謝

