



無人駕駛軌道運輸系統之營運經驗

台北捷運公司協理 / 鄭德發
台北捷運公司副主任 / 朱唯中
台北捷運公司組長 / 鄧 洪
台北捷運公司場長 / 謝淳政

關鍵字：無人駕駛（UTO）、自動化等級（GoA）、通訊式列車控制（CBTC）

摘要

「無人駕駛（Unattended Train Operation）」是軌道運輸業者的美夢，除減少駕駛員人力負擔，更可避免人為錯誤引發事故，維持一致的服務品質。不過，要實現「無人駕駛」的美夢，必須在系統需求定義階段，就事先界定所需要的駕駛自動化等級，配合爭取採購規格及預算，再落實到系統設計、開發及驗證等程序。

台北捷運公司（以下簡稱TRTC）於1996年開始運營台灣第一條木柵線捷運系統，實現「無人駕駛」的構想，至2009年時，延伸至內湖地區，並改稱文湖線，營運至今，該路線每日運量超過20萬人，於108年統計至7月的可靠度指標MKBF¹為728.7萬車廂公

里。相當於每10萬車次僅發生1.4次列車延誤5分鐘以上事件，意即可靠度高達99.999%，2018年委託第三方調查全路網旅客滿意度高達97.9%。此一高標準的營運績效除需系統高度自動化設計外，尚需配合營運人員的持續精進改善，方能達成。

本文說明「無人駕駛」的定義、特徵、功能，並以實例說明在實際營運中進行系統缺陷調整改善的經驗，再以CBTC行控電腦介紹，強調在系統規劃、整合、測試、效能評估等，對增加系統可靠度的重要。

一、文獻回顧

本節針對無人駕駛相關議題進行文獻回顧，釐清重要觀念定義。

（一）列車駕駛自動化等級（GoA）

根據國際公共交通協會（UITP:法文

¹ MKBF（Mean Kilometers Between Failure）指「每發生1件5分鐘以上行車延誤事件之平均行駛車廂公里數」



Union International des Transports Publics) 的定義，列車駕駛自動化等級 (Grade of Automation) 可分為5個等級，依據控制列車運行的責任是交給司機員或是自動控制系統的程度來加以區別，從GoA0到GoA4依序遞增自動控制系統所擔負的工作比例[1]。

GoA0是指完全依賴人工駕駛的系統，例如歐洲城市常見的路面電車TRAM系統；GoA1是指由司機員操作具有自動列車防護ATP功能的列車；GoA2則是包含了完整的自動列車駕駛ATO及自動列車防護ATP功能，司機員只需要負責關門和故障排除，其他的列車監控及操作則可由自動控制系統來負責；GoA3則是將列車操控責任完全交給自動控制系統和行控中心，基本上，已實現了無人駕駛的功能，但基於系統安全及穩定性的考量，會在車上派駐一名備用駕駛，負責處理偶發故障；最高等級的GoA4則是全自動化監控及駕駛列車，完全不需派駐駕駛員。

(二) 通訊式列車控制系統 (CBTC)

隨著通訊科技與自動控制技術的快速發展，鐵道車輛的偵測與控制系統已經從早期的固定閉塞區間的軌道電路，進化為移動式閉塞區間的通訊式列車控制系統 (Communications-Based Train Control)，並帶來以下幾項優點[2]：

1. 增加路線容量
2. 縮短行車間距
3. 減少道旁設備及保養維修費用
4. 更新時可以降低對運營中系統的衝擊

根據IEEE1474.1規範[3]，CBTC系統的

主要特徵包括：

1. 不需要軌道電路
2. 於車輛與道旁設備間提供雙向連續且大容量資料通訊傳輸
3. 車載和道旁設備相關處理器具有維生功能 (Vital Functions)

二、文湖線無人駕駛系統營運經驗

國內都會區無人駕駛軌道運輸系統，濫觴自1996年開始運營之台灣第一條捷運系統-台北捷運木柵線 (路線長10.5公里，12個車站，51對VAL256型電聯車)，由法國馬特拉公司 (MARTA) 與阿爾斯通公司 (GEC-ALSTOM) (已被德國西門子公司購併) 設計製造，由控制中心負責行車監控，車輛具列車自動駕駛 (ATO) 功能，為全自動無人駕駛 VAL (法文 Véhicule Automatique Léger) 之中運量自動導引捷運系統，惟道旁號誌系統為固定式閉塞區間 (Fixed Block) 之博碼調變 PCM (Pulse Code Modulation) 通訊網路，非CBTC系統。至2009年內湖線通車 (路線長14.7公里，12個車站，101對CB370型電聯車)，該路線之行車監控係使用加拿大龐巴迪公司 (BOMBARDIER) CITYFLO650 (原名稱為FLEXIBLOK) 之CBTC系統，後續為將木柵線與內湖線「新舊系統整合」，除該公司 INNOVIA APM 256型車輛 (或稱CB370型車)，亦將原有木柵線VAL256型車隊進行列車控制系統改裝，成為符合一車到底、無需轉乘、便民需求之文湖線 (2009年7月4日全線通車，路線長25.2公里，24個車站，VAL256型及CB370型兩種車型，共計152對車)。木柵線與文湖線新舊系統整合項目比較表及文湖線營運路線圖，如表1及圖1。

表 1 新舊系統整合項目比較表

系統別	木柵線 VAL256 系統	文湖線 BT CBTC 系統
行控電腦	DEC Mini Computer	PC Workstation
電聯車	VAL 51 對車	BT 101 對車加上 改裝 VAL 51 對車
號誌	Fixed Block	CBTC & Moving Block
供電	以同一組斷路器 同時供應上/下 行軌電力	木柵段：同左 內湖段：不同斷路器 分別供應上下行 軌電力
通訊	PCM	SDH、ATM、GE (NEW GE)
軌道	混凝土行駛路面	木柵段：同左 內湖段：鋼製行駛 路面

龐巴迪運輸公司 BT: Bombardier Transportation
 同步數位階層 SDH: Synchronous Digital Hierarchy
 超高速乙太網路 GE: Gigabit Ethernet



圖 1 文湖線營運路線圖

文湖線自2009年7月4日通車營運初期由

於系統不穩定，一如可靠度浴盆曲線 (Tub Curve) 之早夭期 (Infant Mortality)，面臨系統磨合、可用度 (Availability) 妥善率不佳、設備故障造成營運延誤等問題，在台北捷運工程局、廠商龐巴迪公司與本公司共同努力之下，進行相關改善後，逐漸將不穩定狀況改善，後續在捷運公司持續優化系統、精進行車監控技術及提升系統可靠度與旅客搭乘服務品質多方努力後，系統可靠度MKBF從2009年7月通車營運初期之10.425萬車廂公里，精進到目前2019年統計至7月之728.7萬車廂公里，意即可靠度高達99.999%。

以下即以台北捷運文湖線無人駕駛系統營運經驗為例，逐項說明文湖線CITY FLO650 CBTC系統特性、架構、功能[4]及營運改善經驗。

(一) 系統特性：

以移動式閉塞區間 (Moving Block) 為設計理念，列車與道旁訊息交換係連續且為雙向方式，透過無線電RF (Radio Frequency) 通訊方式傳送列車與道旁控制資訊。

(二) 系統架構：

系統架構 (圖2) 主要為自動列車控制系統 ATC (Automatic Train Control)，包含：

1. 自動列車保護ATP (Automatic Train Protection)，負責控制列車安全，於主線各每一區域稱為區域ATP (RATP, Region ATP)，全線共6個區域 (R1內湖機廠、

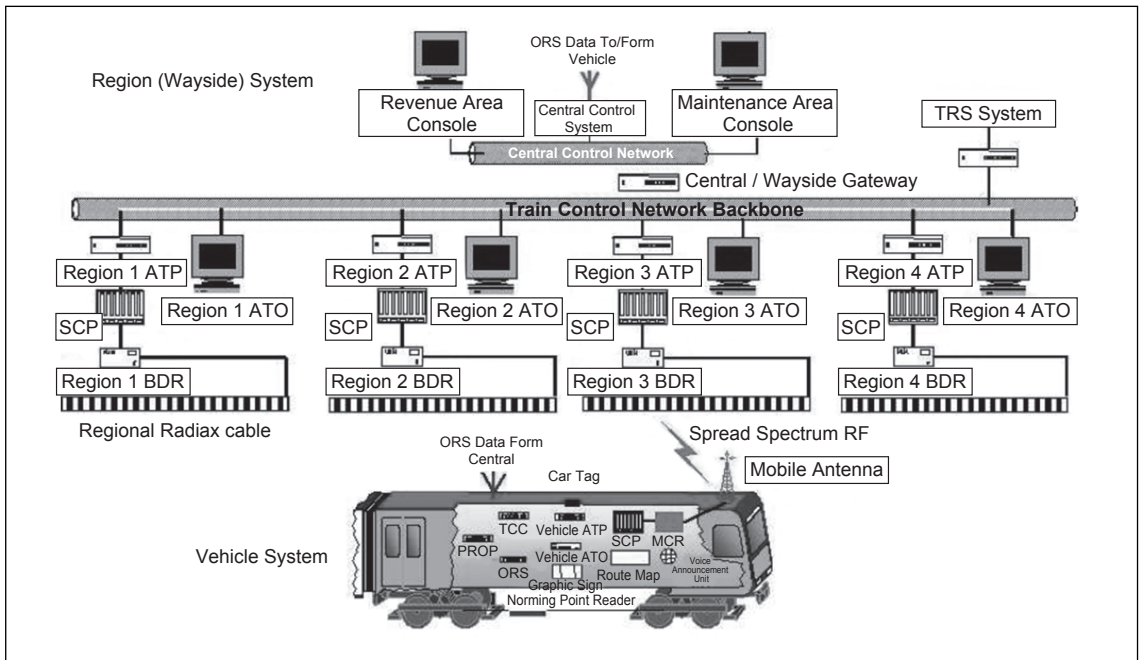


圖 2 BOMBARDIER CITYFLO650 系統架構

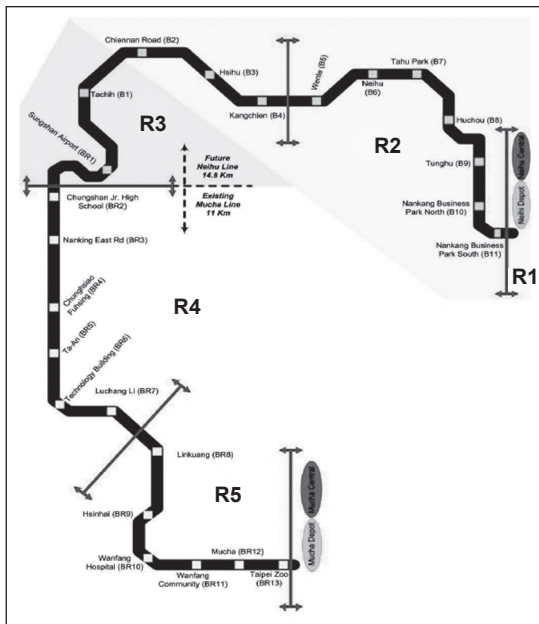


圖 3 文湖線全線含機廠共分 6 個區域

R2-R5主線及R6木柵機廠) (如圖3)，每個區域典型系統架構 (如圖4)，車載ATP設備稱為VATP (Vehicle ATP)；另有1套TRS (Train Registry System) 列車鑑別獨立子系統，功能為當全線首度啟動號誌系統，或區域ATP兩套電腦系統同時故障離線時，號誌系統無法得知列車於此區域位置，而無法執行自動控制時，可藉助TRS系統重新確認列車位置並將系統重新回復為自動控制狀態。

2. 自動列車操作ATO (Automatic Train Operation)，負責操作列車非維生系統，於主線各別區域稱為RATO (Region ATO)，車載部分稱為VATO (Vehicle ATO)。

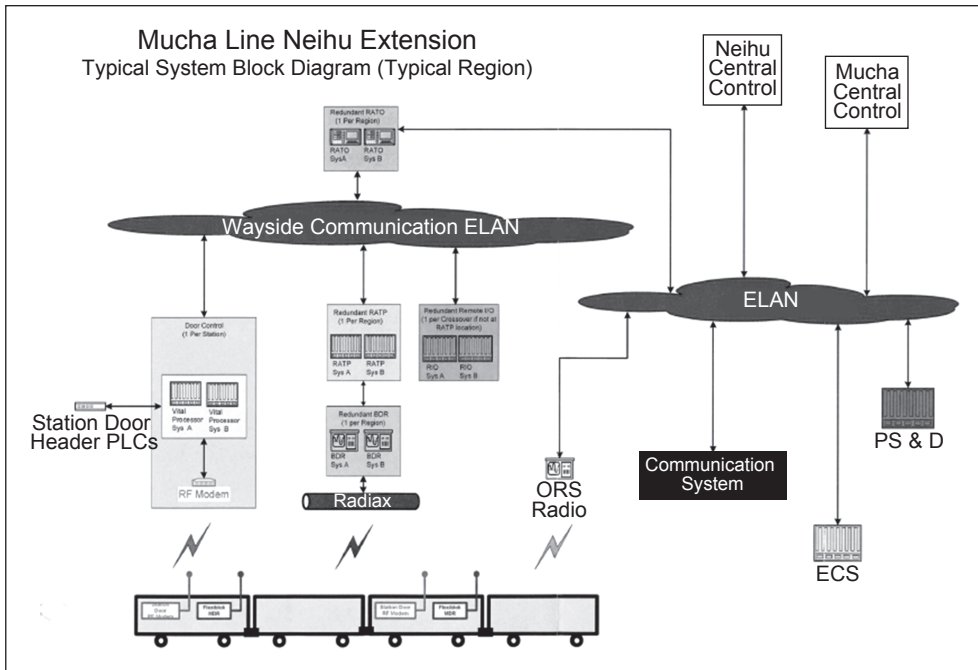


圖 4 文湖線各區域典型系統架構

3. 自動列車監督ATS (Automatic Train Supervision)，負責監視、顯示及控制整體系統性能，藉由1套整合監控及資料取得子系統SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) 監督及控制全線系統。

(三) 系統功能：

就功能面而言，可區分為行控中心ATS架構、主線號誌架構及列車號誌架構，詳述如下：

1. 行控中心ATS架構：採雙網路複置備援設計，重要控制伺服器、列車控制及資料庫皆屬容錯 (fault tolerant) 系統，皆內含備援處理器和電源供應器，為熱待機 (Hot-stand by) 結構，如有故障時不需以人工方

式處理，會自動切換至備援系統。

2. 主線號誌架構：計有4個區域，每個區域ATC設備皆有複置設計，而ATC包含ATO、ATP及基地無線電設備BDR (Base Data Radio)。而每區域分別由各區域專屬ATC來控制道旁ATC。亦設置遠端遙控ATP (Remote ATP) 可進行遠端輸入/出控制，例：轉轆器控制，而Remote ATP是接收ATP元件傳送輸出信號及回傳。有關區域ATC複置備援運作方式，當現行的區域ATP與相關之BDR系統故障離線時，可由行控中心操作員在確認備用系統正常狀態下，下命令切換至備用區域ATP及相關BDR系統。區域ATO系統亦有複置備援設計，當現行區域ATO系統故障離線時，可



由行控中心操作員下命令，或以自動切換方式切換至備用區域ATO系統，區域ATO與區域ATP系統間傳輸網路亦以複置備援方式設計。

3. 列車號誌架構：每一營運列車係由兩雙節車組 (Married-pair) 而成，每雙節車組係由兩車所連結。而每雙節車組都有個別之ATC設備，因此每一營運列車ATC設備皆為複置備援設計。

(四) 文湖線營運問題與改善作為

在面對文湖線各項系統問題時，捷運公司為了改善系統效能，提升行車穩定度，採行各項努力[5]，說明如下：

1. 升級傳輸網路系統

- (1) 遭遇問題：因非同步傳輸模式網路 ATM (Asynchronous Transfer Mode Network) 之邊緣交換器 (Edge Switch) (如圖5) 故障，導致ATM傳輸設備產生

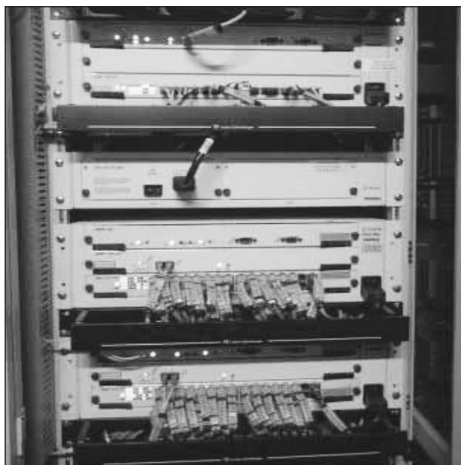


圖 5 非同步傳輸模式網路 (ATM) 交換器

網路風暴 (Network Storm) 無法傳輸，影響全線號誌設備與列車正常運作，造成9次系統大規模延誤事件，係通車初期系統不穩定主因之一。

- (2) 改善作為：為避免類似事件再次發生，故本公司進行傳輸網路系統改善，原有系統採ATM傳輸網路，其邏輯架構如圖6所示，但因ATM傳輸網路設備原廠已停產，故經多次評估後，重新建置一套核心超高速乙太網路GE (Gigabit Ethernet) 設備 (如圖7)，以取代原有ATM傳輸網路設備。新建置超高乙太網

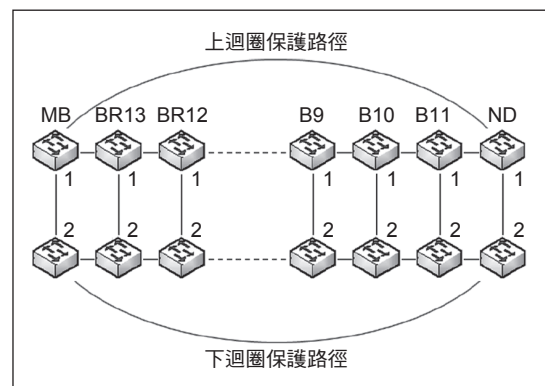


圖 6 ATM 傳輸網路邏輯架構

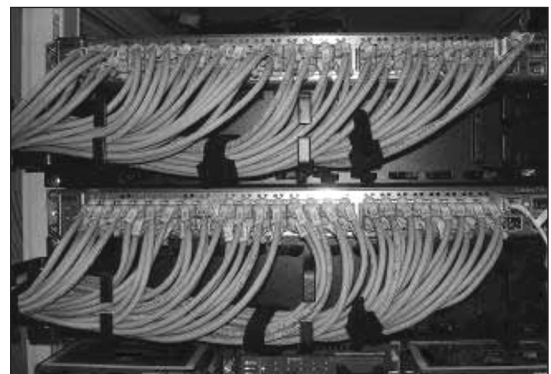


圖 7 核心超高速乙太網路設備

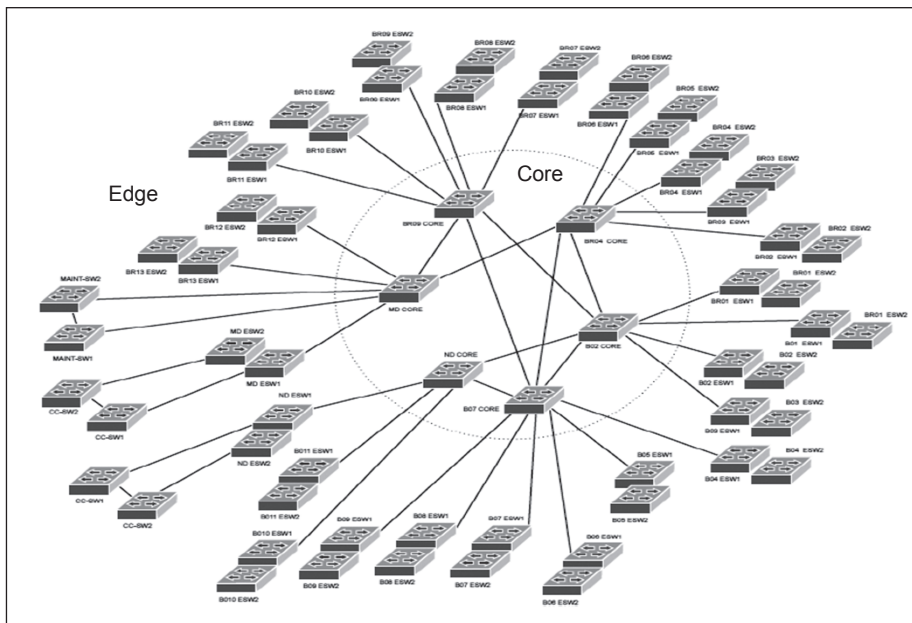


圖 8 核心 GE 網路邏輯架構圖

路 (GE) 以 Cisco C3750 系列組成半網狀網路系統，網路邏輯架構如圖 8 所示，已改善原 ATM 網路架構，大幅降低網路風暴發生機率，2009 年完成核心 GE 網路取代 ATM 網路測試，功能正常運作，傳輸網路系統問題已獲有效改善。

2. 開發文湖線行車地理資訊系統[6]

(1) 遭遇問題

2009 年 7 月 10 日因中山國中站不斷電系統斷電，造成全線號誌及通訊系統中斷，行控電腦當機，約 700 名乘客被迫由捷運公司人員從軌道上列車引導至站內，全線自下午 3 時 30 分後停駛，直至 7 月 11 日早上 6 時才恢復正常營運，至 2009 年底陸續發生 11 次系統離線。尤其此類事件發生時，常伴隨發生列車失聯

(Loss Train) 狀態，不單行控中心無法掌握列車位置及狀況，車站服務人員亦無法提供旅客適切的服務，嚴重影響服務品質。

(2) 改善作為

自行開發文湖線行車地理資訊系統，彌補 Bombardier 行控系統缺憾。新增系統補足運轉所需功能，於故障發生時，可減少中斷營運時間，進而提昇服務品質，確保行車安全。為不影響文湖線行控中心運作，利用螢幕分接器將主任控制員席位工作站之正線列車調度畫面接至文湖線地理資訊系統主機，再於本系統主機上採用影像擷取卡接收輸出畫面訊號 (如圖 9)。

意即實際文湖線列車運轉調度作業畫面，皆經由螢幕分接器接至文湖線地理

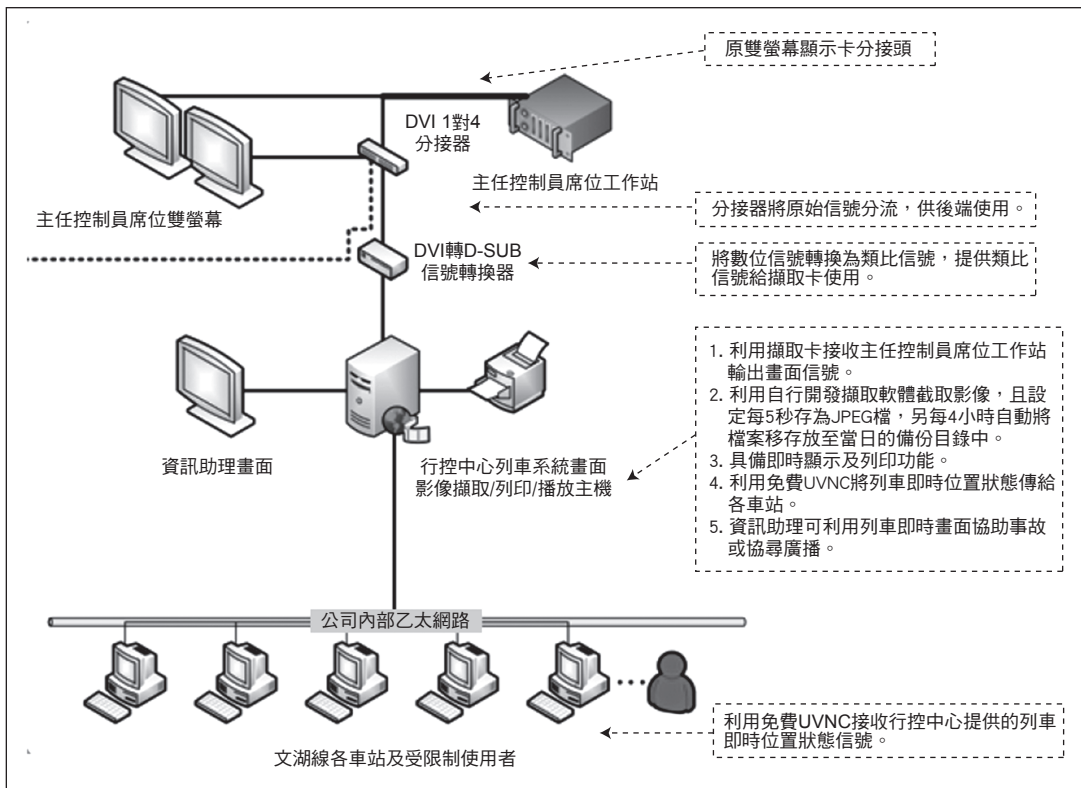


圖 9 文湖線行車地理資訊系統架構

資訊系統主機。自行開發文湖線行車地理資訊系統主要目的：

- a. 文湖線列車係由雙對車組成，每對車各有其車號，然Bombardier行控系統在文湖線行控電腦運轉畫面上，並未提供即時列車組成（如圖10），行控同仁於畫面上僅得知其中單一對車車號，若同一列車之另一對車發生緊急事件，行控中心將無法於第一時間掌握。
- b. 當全線列車失去通訊或號誌系統當機時（如圖11），須聯繫所有列車伴隨人員，了解列車位置，並進行

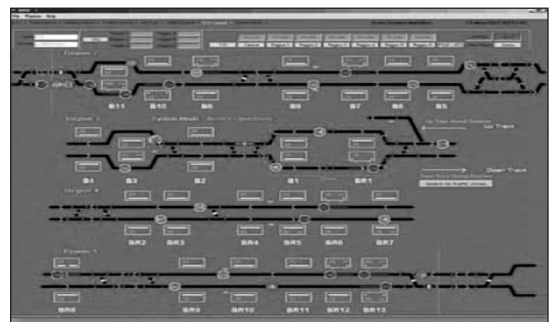


圖 10 行控電腦畫面未提供即時列車位置

緊急疏散作業。於旅客疏散後，每列失聯列車將進行初始化，以重建Bombardier行控系統。全部完成系

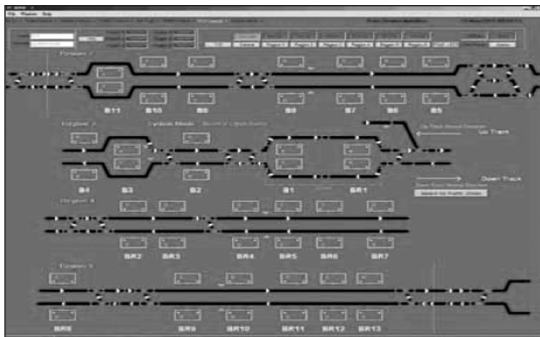


圖 11 列車失聯時行控無法得知列車位置

統重建至少須耗費4小時以上，耗費時間太長，徒增民怨。

- c. 文湖線行控中心並無運行資料畫面存檔（錄影）、播放（Playback）及列印功能，於事件發生後不易進行事故調查，以釐清故障狀況與列車調度作業。
- d. 文湖線即時列車運轉畫面應能分享全線車站同仁使用，可大幅提昇旅客服務能力（例：可明確告知站務同仁列車位置方便服務殘障人士）及事故應變處理。全線同仁對於各列車位置可自行得知，控制員也不須忙於向各車站人員聯絡告知列車所在地點。在處理事故時不但可有效減少時間的耗費，且可掌握排除問題最佳時機。
- e. 於Bombardier行控中心系統上並未整合列車伴隨人員與車站人員等資訊，然而，這部份是文湖線行控中心迫切需要的；意即尖峰時段（全線48列車運行），列車上人員及全線車站（24車站）人員不能因列車進出機廠、伴隨人員輪替與值班人員輪班而失去掌控，增加營運風險。

(3) 開發效益

有關開發文湖線行車地理資訊系統獲得多方面效益，說明如下：

a. 改善列車調度

使用資料庫方式管理，可讓行控中心、維修單位及車站同步取得正確而即時之列車狀態，當列車有需求或故障時，亦可標示其列車，立即讓使用單位了解，車站支援人員也可明確得知列車位置，在事故發生時，可早一步到達事故列車。

b. 改善列車追蹤

可立即掌控伴隨人員資訊，本系統可在人員上車時將人員對應至列車，使用者及行控中心可立即得知伴隨人員基本資料及電話，以利人員調度。

c. 提昇服務品質

車站服務人員可主動了解列車位置提供旅客協助服務，對於旅客需要全線任一車站之景點資訊，或是末六班車資訊皆可以利用本系統，快速服務。

三、CBTC 之行控電腦系統

（一）CBTC 行控電腦架構

所有捷運行控電腦的主要中央監控功能至少皆包括行車監控、供電、環控、通訊子系統，行車監控部分則包括列車追蹤、行車調度，遙控車站現場設備、營運資料記錄與查詢等功能。

臺北捷運路網中具備CBTC架構的路線只有文湖線與新建路線-環狀線，由於均屬於



無人駕駛設計，行控中心的監控責任相對吃重。兩者之差異點有：

1. 時刻表

文湖線行控電腦設計中沒有時刻表調度功能，而是由加減列車數量方式自行調整車間距，為此捷運公司尚得自行開發附加軟體，依固定時刻表倒數提醒控制員手動發車；環狀線則具備時刻表調度與車間距調度功能。

2. 系統主機

文湖線行控電腦的行車監控與供電功能分別設置於1組(2台)主電腦上，程式密切溝通，單一子系統軟體異常時，容易影響到另一子系統監控功能；環狀線各子系統設備分開設置，單一子系統異常時，不易影響其他子系統主要功能。

3. 備援架構

文湖線行控電腦採硬體熱備援架構，也

就是單主機雙模組(圖12)、軟體即時同步，當硬體異常自動切換模組時，人員監控完全無感，但軟體執行異常時則沒有另一備援，必須由維護人員介入處理；環狀線行控電腦則採軟體熱備援架構，以SCADA(ATS)系統為例(圖13)，每種伺服器由2台主機互為備援，軟硬體異常時由主方自動切換至從方，動作時監控畫面會有短暫閃動情形。

(二) CBTC 行控電腦面臨問題與建議

經過文湖線與環狀線工程的洗禮，我們發現行控電腦的設計與建置過程中，都碰到類似的議題，希望以下這些經驗能回饋給未來路線，作為建置時的參考。

1. 電腦應具備資訊安全防護措施

現在資訊發達，對資訊安全的威脅也不可小覷，伊朗核電廠SCADA系統於2010年被攻擊使離心機受到嚴重損壞的記憶猶新，國家基礎民生建設的確容易成為駭客有目的攻

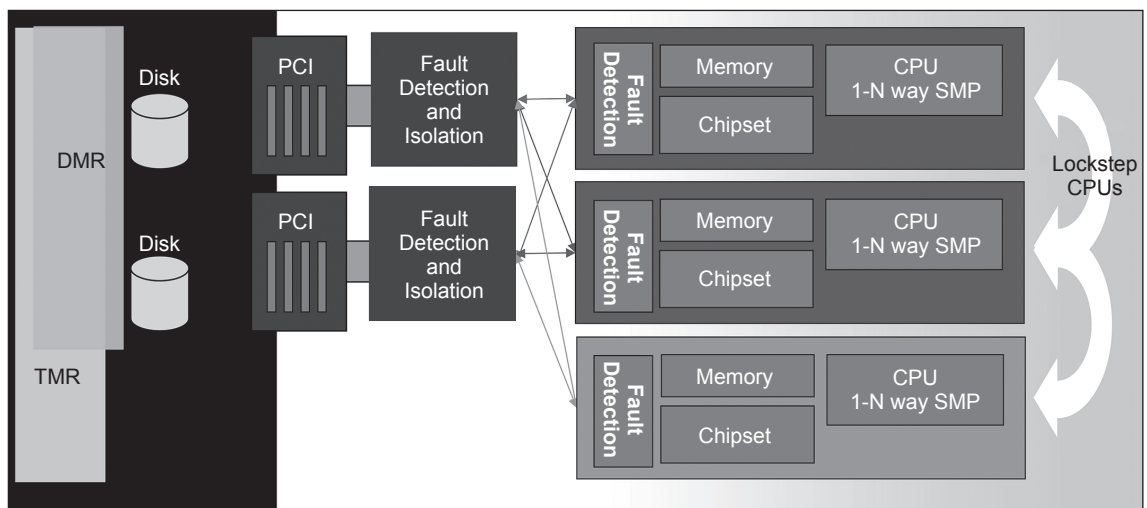


圖 12 單主機雙模組架構

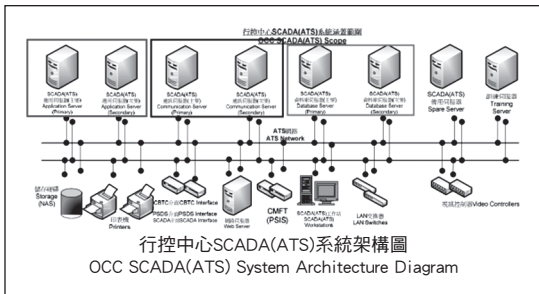


圖 13 環狀線 SCADA (ATS) 系統架構

擊的目標，因此，政府於108年頒布資通安全管理法，其中資通安全責任等級分級辦法明訂，屬關鍵基礎設施提供者，且業務經中央目的事業主管機關考量其提供或維運關鍵基礎設施服務之用戶數、市場占有率、區域、可替代性，認其資通系統失效或受影響，對社會公共利益、民心士氣或民眾生命、身體、財產安全將產生嚴重影響者，應有資通安全防护措施，包括防毒軟體、防火牆等。

以往捷運工程契約未明訂安裝防毒軟體、防火牆等規定，各級廠商專注於設計安裝測試，存取資料常以方便為唯一考量，病毒往往就從此蔓延。文湖線在捷運公司強力要求下，系統原廠於通車前幾天會同防毒軟體廠商合作安裝調整，歷經1個晚上失敗，第2個晚上終於測試成功；加上捷運公司嚴格管制封鎖USB、外部網路等措施，迄今安全運作。環狀線系統在工程階段已有零星電腦被病毒威脅情事，安裝防毒軟體掃毒防護已成為基礎必要措施。為了整體捷運系統運作安全順暢，且符合政府法令，建議捷運工程契約規範中明訂廠商於建置、測試至保固各階段的資訊安全防护責任與實施要項。

2. 要重視中央行車監控的各項測試

CBTC系統的特性中，中央行車監控對下游設備與列車有著非常吃重的功能，中央與現場設備的溝通訊號相對更為緊密，因此現場各設備靜態與動態測試階段，中央監控往往被當成測試檢驗現場功能的工具之一。此過程不能完全涵蓋中央行車監控的所有點位與功能，但因時程緊迫，中央監控的點對點靜態、動態與介面測試反而因被當作測試工具而被省略，導致後期系統整合測試中常因中央監控各種小問題反覆測試失敗，而拖延工期。

因此，工程中的各項測試，尤以中央監控部分，無論工期多趕，仍應按部就班，打好靜態、動態與介面測試基礎，後續整合測試才容易順利完成。

3. 行控告警要分類分級按席位顯示

由於CBTC屬於無人駕駛設計，現場與車載設備資訊與告警主要需由行控中心知悉。但其數量龐雜，若全部都回到行控中心，必定無法消化，可能因錯失重要訊息導致事態擴大，因此其內容與數量如何客製化調整到能讓控制員妥為因應，是非常重要的議題。

文湖線行控電腦一天記載6萬筆告警與事件，經捷運公司與廠商共同檢討後，將告警分級重新依需求清楚定義，搭配精進監控畫面顯示功能，可篩選即時告警顯示等級，重要等級才顯示於畫面（圖14），亦可篩選即時告警分類與發生地點，各席位將只會看到所負責類型（如電聯車）以及區域（例如正線區域）的告警，如此即能彈性調整到每日僅數百筆告警，各控制員才有可能逐筆專注處理告警資訊。

再搭配捷運公司自行發展的重要設備監控系統，即時接收系統電腦的告警紀錄，可

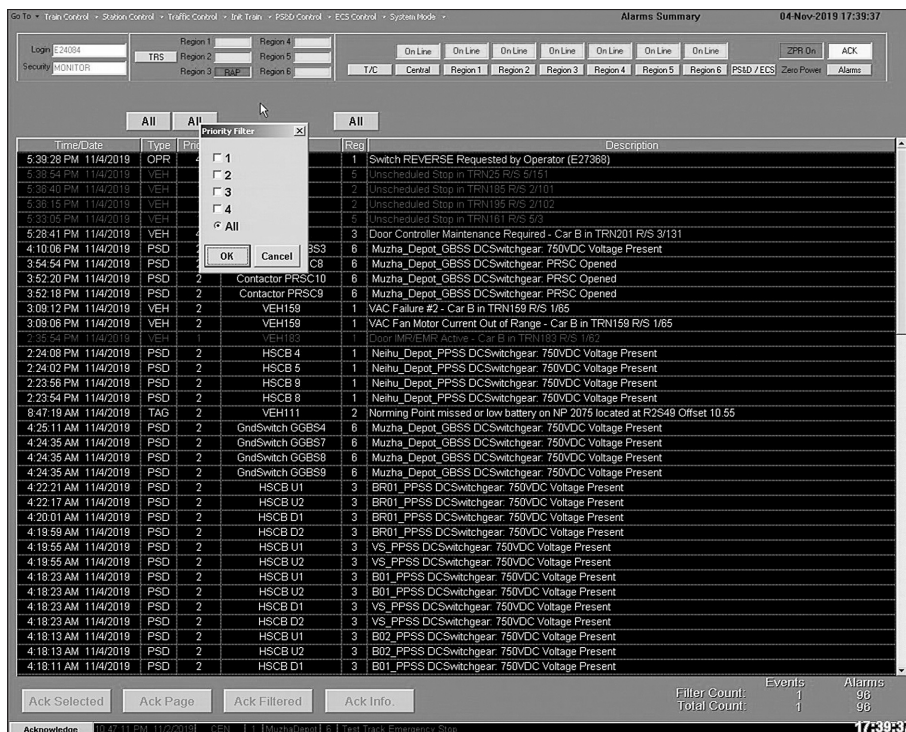


圖 14 文湖線即時告警視窗之篩選功能

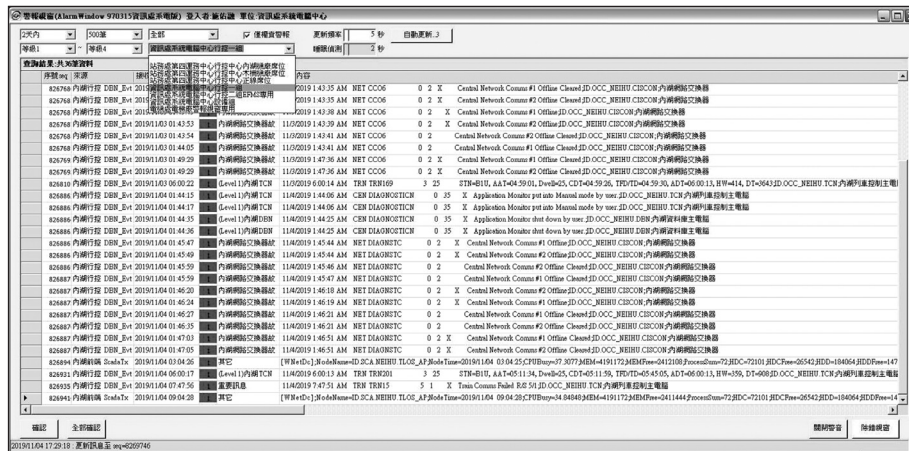


圖 15 北捷自建重要設備監控系統告警視窗

依事先設定的關鍵字主動發出警示與警報 (圖15)，亦能做後續的加值運用，讓系統監

控能力如虎添翼。環狀線告警除了數量龐雜，車載號誌告



警與電聯車告警還從不同路徑回到行控中心，分別由行車調度電腦、列車監督電腦進行不同重點的監控，且同樣的告警於兩系統中的等級不一，讓監控人員無所適從。在工程後期各子系統已有具體告警回送行控中心後，惟仍必須經歷捷運公司與廠商對告警等級與畫面（圖16）功能的檢討過程，甚至到通車營運後，仍需經過適度調整，系統告警才能臻於完善。

因此，建議未來路線的捷運要預留時間，讓廠商與捷運公司共同檢討調整告警清單與功能；此外也要有具備編輯告警功能的人機介面，訓練捷運公司後續自行視需求進行告警微調作業。

4. 穩定性前置測試行控電腦效能

工程建置過程中，當現場訊號傳回行控中心，或因現場未開機、故障或調校尚未完成，中央監控電腦總會接收大量資訊，有可能造成電腦資源整體效能受影響，如CPU負載或記憶體使用量過高導致遲滯當機，資料庫、佇列或硬碟滿溢等等異常，導致中央監

控電腦本身的功能反而無法正常進行驗證。

文湖線行控電腦在通車前幾個月前跑9列車車隊時就一直處於天天當機的困境，直到更換更高等級電腦解決當機後，才能好好查修被掩蓋的現場與中央監控問題。

環狀線也曾因列車一切換到睡眠模式，立即產生大量高等級告警，灌爆列車監控電腦佇列，無用的告警不但影響控制員監控品質，也塞滿整個資料庫。

此外，有些查詢功能的效能與設計方式也必須被重視，例如環狀線的歷史紀錄是每小時存放至一個檔案，當使用者查詢歷史告警（圖17），要先篩選日期時間，待系統找到相對應檔案，再接受使用者篩選之地點、子系統或等級，於該檔案中從頭篩選一筆筆資料，如此查詢1小時的告警可能要花費數分鐘之久。

因此，捷運工程必須要留給穩定性測試前一段足夠的前置測試時間，好讓系統跑出各種問題給廠商調校，特別是監督行車監控電腦的資源效能，可以觀察到各類設備潛在的問題，以利廠商精進改善。

Priority	Time	Status	Subsystem	Code	Details
2	04/11/2019 17:49:39.817	I	CBTC	Z026	012 AT DEPOT TK924: Vehicle Not Localized With Certainty In Rear Of The Train
2	04/11/2019 17:49:39.817	I	CBTC	Z025	012 AT DEPOT TK924: Vehicle Not Localized With Certainty In Front Of The Train
3	04/11/2019 17:48:30.638	U	RS	R187	012 AT DEPOT TK921: CCU Speed Restriction Applied
3	04/11/2019 17:48:19.905	U	RS	R192	012 AT DEPOT TK921: Train Unable To Run
2	04/11/2019 17:46:59.013	I	ATS	A078	012 AT DEPOT TK921: Train Desk Enabled On Car B
2	04/11/2019 17:46:48.667	I	VEH	V122	008 AT SHISIZHANG TK0704: No Route Available Based On Mission 997
2	04/11/2019 17:46:43.420	I	CBTC	V607	012 AT DEPOT TK921: Releaseable Stop Activated
3	04/11/2019 17:44:43.108	I	RS	R187	012 AT DEPOT TK917: Emergency Brake Application
2	04/11/2019 17:44:13.028	I	SCA	S006	012 AT DEPOT TK917: CCU Speed Restriction Applied
3	04/11/2019 17:42:03.076	I	RS	R192	012 AT DEPOT TK917: Train Desk Enabled On Car B
3	04/11/2019 17:40:16.697	I	RS	R187	012 AT DEPOT TK917: CCU Speed Restriction Applied
2	04/11/2019 17:39:27.662	I	ATS	A078	012 AT DAPINGLIN TK0611: No Route Available Based On Mission 997

Priority	Time	Status	Subsystem	Code	Details
4	04/11/2019...	A	ATS	A070	014 AT SHISIZHANG TK0703: Dwell Extended Because Of Conditions Ahead
4	04/11/2019...	A	WAY	W220	014 AT SHISIZHANG TK0703: Train Hold Application By CBTC
4	04/11/2019...	A	ATS	A070	008 AT SHISIZHANG TK0704: Dwell Extended Because Of Conditions Ahead
4	04/11/2019...	A	WAY	W220	008 AT SHISIZHANG TK0704: Train Hold Application By CBTC
2	04/11/2019...	A	Veh	V405	011 AT DAPINGLIN TK0711: Unintended Stop For Over 120 Seconds
3	04/11/2019...	A	Cen	Z005	011 AT DAPINGLIN TK0711: Train Out-Of Platform Hold Application By CBTC.
2	04/11/2019...	A	VEH	V122	005 AT DEPOT TK975A: Releaseable Stop Activated
3	04/11/2019...	A	RS	R110	005 AT DEPOT TK975A: Three Or More Cars with Electrodynamic Brake Failures
3	04/11/2019...	A	Cen	Z005	003 AT DEPOT TK912: Train Out-Of Platform Hold Application By CBTC.
3	04/11/2019...	A	RS	R180	003 AT DEPOT TK969A: VAC2 CAR D Status OFF
3	04/11/2019...	A	RS	R180	003 AT DEPOT TK969A: VAC1 CAR D Status OFF
3	04/11/2019...	A	RS	R180	003 AT DEPOT TK969A: VAC2 CAR C Status OFF
3	04/11/2019...	A	RS	R180	003 AT DEPOT TK969A: VAC1 CAR C Status OFF

圖 16 環狀線即時告警視窗



Priority	Time	Code	Details	Note
2	04/11/2019 17:49:39:817	Z025	012 AT DEPOT TK924: Vehicle Not Localized With Certainty In Front Of The Train	
2	04/11/2019 17:49:39:817	Z026	012 AT DEPOT TK924: Vehicle Not Localized With Certainty In Rear Of The Train	
3	04/11/2019 17:48:30:638	R187	012 AT DEPOT TK921: CCU Speed Restriction Applied	
4	04/11/2019 17:48:26:871	W225	012 AT DEPOT TK921: Trip Changed To Nonstop	
4	04/11/2019 17:48:22:068	R114	012 AT DEPOT TK921: Dead Man Circuit Exclusion	
1	04/11/2019 17:48:21:076	V101	012 AT DEPOT TK921: Train Unable To Run	
3	04/11/2019 17:48:19:905	R192	012 AT DEPOT TK921: Train Desk Enabled On Car B	
2	04/11/2019 17:46:59:013	A078	008 AT SHSIZHANG TK0704: No Route Available Based On Mission 997	
2	04/11/2019 17:46:48:667	V122	012 AT DEPOT TK921: Releasable Stop Activated	
3	04/11/2019 17:46:46:713	R110	012 AT DEPOT TK921: Three Or More Cars with Electrodynamic Brake Failures	
1	04/11/2019 17:46:44:954	V141	012 AT DEPOT TK921: Train Unable To Run	
2	04/11/2019 17:46:43:420	V607	012 AT DEPOT TK921: Emergency Brake Application	
3	04/11/2019 17:44:43:108	R187	012 AT DEPOT TK917: CCU Speed Restriction Applied	
2	04/11/2019 17:44:13:028	S006	WASH TRACK: Car Wash Failure	
4	04/11/2019 17:44:00:935	W225	012 AT DEPOT TK917: Trip Changed To Nonstop	
1	04/11/2019 17:42:05:009	V141	012 AT DEPOT TK917: Train Unable To Run	
3	04/11/2019 17:42:03:976	R192	012 AT DEPOT TK917: Train Desk Enabled On Car B	
3	04/11/2019 17:41:03:917	R110	012 AT DEPOT TK917: Three Or More Cars with Electrodynamic Brake Failures	
2	04/11/2019 17:41:03:171	V122	012 AT DEPOT TK917: Releasable Stop Activated	
1	04/11/2019 17:41:01:314	V141	012 AT DEPOT TK917: Train Unable To Run	
2	04/11/2019 17:40:58:585	V607	012 AT DEPOT TK917: Emergency Brake Application	
3	04/11/2019 17:40:16:697	R187	012 AT DEPOT TK917: CCU Speed Restriction Applied	
4	04/11/2019 17:40:10:980	A070	014 AT SHSIZHANG TK0703: Dwell Extended Because Of Conditions Ahead	
4	04/11/2019 17:39:59:474	W220	014 AT SHSIZHANG TK0703: Train Hold Application By CBTC	
2	04/11/2019 17:39:42:662	A078	014 AT DAPINGLIN TK0611: No Route Available Based On Mission 997	
3	04/11/2019 17:39:18:622	R110	012 AT DEPOT TK917: Three Or More Cars with Electrodynamic Brake Failures	
4	04/11/2019 17:39:14:306	R115	012 AT DEPOT TK917: Dead Man Intervention	
2	04/11/2019 17:39:14:306	V607	012 AT DEPOT TK917: Emergency Brake Application	
1	04/11/2019 17:39:13:563	V141	012 AT DEPOT TK917: Train Unable To Run	
4	04/11/2019 17:39:11:586	A070	008 AT SHSIZHANG TK0704: Dwell Extended Because Of Conditions Ahead	
3	04/11/2019 17:39:11:103	R192	012 AT DEPOT TK917: Train Desk Enabled On Car B	
4	04/11/2019 17:39:01:051	W220	008 AT SHSIZHANG TK0704: Train Hold Application By CBTC	
2	04/11/2019 17:37:58:884	V122	012 AT DEPOT TK917: Releasable Stop Activated	
2	04/11/2019 17:37:57:029	S006	WASH TRACK: Car Wash Failure	

圖 17 環狀線歷史告警查詢視窗

5. 中央監控環控系統的宿命

工程建置過程中，廠站管理系統（Building Management System, BMS）受限於廠站設備繁雜，很晚期才能完成，對應的中央監控環控系統建置進度也受到拖累。

文湖線的行控電腦系統原本一組主電腦設計可以負責所有行車監控、供電以及環控功能，因上述因素，通車前不到一年得將環控主電腦另行設置，以免影響其他2個子系統之測試進度。正因如此，環狀線要求將行車監控、供電、環控子系統各自獨立設置主電腦，僅由介面互相作必要之溝通（圖18）。當然，環狀線的中央監控環控系統仍然同樣面臨車站設備介面未確認的問題，此時應仰賴業主、各家廠商與捷運公司通力合作，儘速確認功能需求與設計點位，並協助測試，以加速工進。

四、結論

1. 營運一條最高等級之全自動化監控及無人駕駛系統（GoA4），行控中心必須同時扮演控制員及司機員角色，透過ATS、SCADA、CCTV等設備搭配，掌握每一部列車運行狀況，排除每一個故障所衍生之影響，故經營一條無人駕駛系統之捷運系統，就運務面及維修面來看，都有其挑戰及特色。
2. 就營運面挑戰而言，營運無人駕駛系統（GoA4），所有控制核心皆在行控中心ATS，控制員必須透過ATS全盤掌握列車調度、蒐集各種設備故障警訊以及排除故障狀態，所以ATS可靠度、行控中心對號誌設備、車載設備掌握度於營運前必須嚴

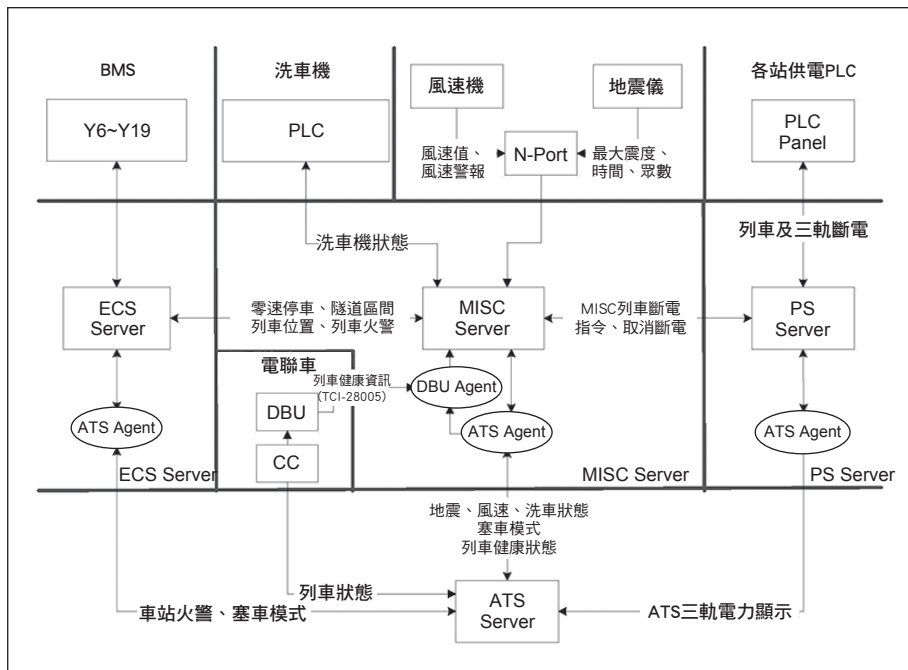


圖 18 環狀線中央監控子系統介面

加驗證，包括：

(1) ATIS可靠性

由於列車採自動化無人駕駛，列車所有運行狀況、故障警訊必須傳回行控中心 ATIS，在硬體上為提升 ATIS 可靠性，就必須採熱備援設計，包含 ATIS 伺服器、網路傳輸、數據資料庫...等皆須具備熱備援且能自動切換功能，以利當設備發生故障可無縫接手。另在 ATIS 軟體設計方面，尤須考量避免過多的告警占用 ATIS 電腦 CPU 處理效能及記憶體容量，以避免非重要資訊堆積壓潰系統處理效能等問題。

(2) ATIS告警

因自動化無人駕駛系統列車上無配置隨車人員，故列車所有狀態、警訊皆須傳

回行控中心，由行控中心控制員進行狀況分析及故障排除。惟往往因 ATIS 告警過多，當故障發生時，控制員無法即時掌握故障，故 ATIS 告警分類極為重要，應避免過多未經分類篩選的告警淹沒重要告警，延誤故障處理時間，有關環狀線告警分類如表 2：

(3) ATIS對號誌設備掌握度

號誌系統採熱備援設計係達成全自動化監控及無人駕駛系統 (GoA4) 方式之一，號誌設備在故障情況下，系統可在兩套設備間自動切換達到無縫接手，完全不影響號誌系統對列車的安全控制。惟號誌系統因某些原因無法自動切換，此時就須依賴行控中心控制員透過 ATIS 協助進行手動切換，故對號誌系統掌握



表 2 環狀線告警分類表

優先等級	嚴重程度	說明	警報文字顏色 (黑底)	閃爍	警報提示音
1	非常高	事件立即危害系統安全	紅	是	持續警報
2	高	事件會影響營運並可能危及系統安全性	黃	是	持續警報
3	影響營運	事件會影響營運但系統安全性不受影響	青	是	單一嗶嗶聲
4	低	事件不影響營運但會造成系統較無法承擔意外事故	亮咖啡	否	否
5	非常低	警告	白	否	否

度極為重要，可透過在ATS設置遠端切換功能達成。

(4) ATS對車載設備掌握度

列車在捷運路網上行駛，若因設備故障致產生EB告警，行控中心需要掌握足夠資訊再加上CCTV等設備確認，在安全無虞下，行控中心控制員可透過ATS遠端排除緊急煞車（EB：Emergency Brake）或 防滑控制緊急煞車（SCEB：Slide Controlled Emergency Brake），以縮短列車延誤時間，環狀線行控可遠端解除緊急煞車之狀況說明如表3。

表 3 環狀線行控遠端解除緊急煞車狀況表

狀況	系統反應	行控可否遠端解除緊急煞車
里程器因素	EB	無法解除 EB 及釋放列車
偵測到障礙物	EB	可以解除 EB 及釋放列車
偵測到脫軌	EB	無法解除 EB 及釋放列車
整體性失聯	EB	無法解除 EB 及釋放列車
轉轍器 / 信標 / 資料庫檢查	EB	無法解除 EB 及釋放列車
資料庫斷斷	EB	無法解除 EB 及釋放列車
車載控制器維生 MAL 無法使用	EB	無法解除 EB 及釋放列車
退後 / 緩慢行駛	EB	可解除 EB 及釋放列車
突然失去暫時速限	EB	可解除 EB 及釋放列車
維生超速	EB	可解除 EB 及釋放列車
失能裝置出發檢查	SCEB	無法解除 EB 及釋放列車
車載控制器初始化測試失敗	SCEB	無法解除 EB 及釋放列車
超越超速限制	EB	可解除 EB 及釋放列車
通過不安全區域	SCEB	可解除 EB 及釋放列車
不正當車門開啟	SCEB	可解除 EB 及釋放列車
外在因素啟動 EB	SCEB	可解除 EB 及釋放列車
維生輸入 / 輸出故障	EB	可解除 EB 及釋放列車
ATO 錯誤	SCEB	無法解除 EB 及釋放列車
煞車故障管理	SCEB	列車 EB 可在下一車站解除
發車前測試發現失去摩擦煞車指示器使得列車停止	EB	此列車將不會發車
旅客緊急逃生手把啟動 (EED 作動)	SCEB	假如在車站，可解除 EB 及釋放列車
懸吊系統故障	SCEB	可解除 EB 及釋放列車

3. 營運經驗應回饋至後續新建路線設計

台北捷運公司負責運轉維護捷運機電系統已有超過23年經驗，與工程建設機關建立有良好合作互動模式，提早於設計階段即派遣有經驗專業工程師參與設計文件審查，並將曾經發生之故障、運維經驗及改善建議回饋至設計及監造單位，良性的技術經驗交流可使系統設計更周延成熟，並提升新建路線之穩定性。

4. 應盡早讓營運人員參與系統測試

捷運公司參與系統測試可加速瞭解系統

設計架構與理念，藉由安裝測試、靜態測試、動態測試及整合測試等一系列測試程



序，找出系統核心風險、潛在風險及增加故障時之應變能力，培養運維人員對系統的熟悉度，並讓捷運公司提早準備系統故障處理作業程序及相關教案教材，加速後續營運接手之信心與能量。

五、未來展望

無人駕駛軌道運輸系統為目前城市軌道建設普遍採用，不管使用在重運量（MRT）或輕運量（LRT）；新建路線或已營運路線的更新。各系統商所推出新產品皆以搭載CBTC無人駕駛系統為主。

無人駕駛系統有它存在優勢，如減少營運維護之人力成本、設備減量可降低備品或更新費用；但相對的，無人駕駛系統高度程式化，人為駕馭、控制難度增高。必須在設計規劃階段對系統架構、控制邏輯充分參與和了解，在系統整合、測試階段由營運單位完全參與，如此方能確保對廠商所提供之系統具有營運管理能力。

希望藉由本篇技術討論與說明，對其他城市未來發展軌道運輸，提供規劃、建設、營運準備各階段之參考。當然台北捷運也不吝分享這些年來之營運經驗，協助各城市發展與經營軌道運輸系統。

參考文獻

1. Press kit from official website of UITP. "Metro automation facts, figures and trends", UITP (international association of public transport), 2012.
2. 林逸群、陳世平、魏德輝、黃劉乾、廖正堅、邱偉銘著，「無線通訊式列車控制（CBTC）國際規範 IEEE1474 系列導讀」，中興工程第 142 期，108 年。
3. IEEE. "IEEE1474.1-1999 standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements", 1999.
4. 陳柏穎、林建仁，「內湖線行車控制系統功能」，捷運技術半年刊第 35 期，95 年 8 月。
5. 莊英震、黃家仁、李吉忠、施志龍、李儀禹，「臺北捷運文湖線的技術改善紀實—營運初期至今可靠度躍昇之行動案例」，捷運技術半年刊第 49 期，103 年 7 月。
6. 阮達仁、朱唯中、李健男、張國鴻，「文湖線行車地理資訊系統」，台北捷運公司軌道經營與管理第 11 期，101 年 7 月。