



智慧軌道交通

林同棧工程顧問股份有限公司副總工程師、重慶交通大學特聘兼任教授、/ 林忠正
前林同棧國際工程諮詢(中國)有限公司公共交通總工程師、
前重慶城市交通研究院技術總監
林同棧工程顧問股份有限公司軌道運輸部工程師 / 孫郁鈞
林同棧工程顧問股份有限公司軌道運輸部副理 / 楊政儒
林同棧工程顧問股份有限公司軌道運輸部經理 / 楊昆霖

關鍵字：智慧軌道、交通建設、人工智慧、區塊鏈、雲計算、大數據、物聯網、建築資訊模型(BIM)、數字孿生、元宇宙

摘要

智慧軌道交通是人類社會對軌道交通發展趨勢和運作模式的抽象表現，是軌道交通發展遠景的宏觀理念和建設目標，它以人類智慧與經驗為指導，以號誌和資訊的數字化處理為基礎，以物的智慧化資訊搜集為目標，以能實現人、機、物的全面互聯的全聯網(IoT)為資訊交換和資源共享平臺，建立軌道交通系統的控制與管理過程智慧化，使之具有更透徹的感知、更廣泛的互聯互通和更深入的智慧化處理能力，進而建構集人和人類智慧、軌道交通物理網路、全聯網、智慧資訊處理技術及各類數字化資訊為一體，且高效、便捷、安全、可視、可預測、環保

和智慧的現代軌道交通系統。

隨著臺灣軌道交通快速發展，採用資訊技術營運的狀況逐漸形成，軌道交通在交通運輸體系中承擔越來越重要的角色和作用。臺灣軌道交通在建設初期雖然要求整體路網規劃，但採用一線一核，一核一建的方式，資訊系統基本上也是隨用隨建設，不僅各都市自行建設，都市與都市間也缺少整合規劃。智慧軌道交通建設可透過整合感知層、執行層及應用層既有和新增功能模塊，在既有監控系統基礎上打造智慧化運行與營運管理系統，具備運行狀態全方位精準感知、運行趨勢智慧化分析預判、資訊指令一致化主動推送、運行規則擬人化自動進化功能，進



而整合軌道交通路網，使得軌道交通在智慧化下得以快捷且安全運行。

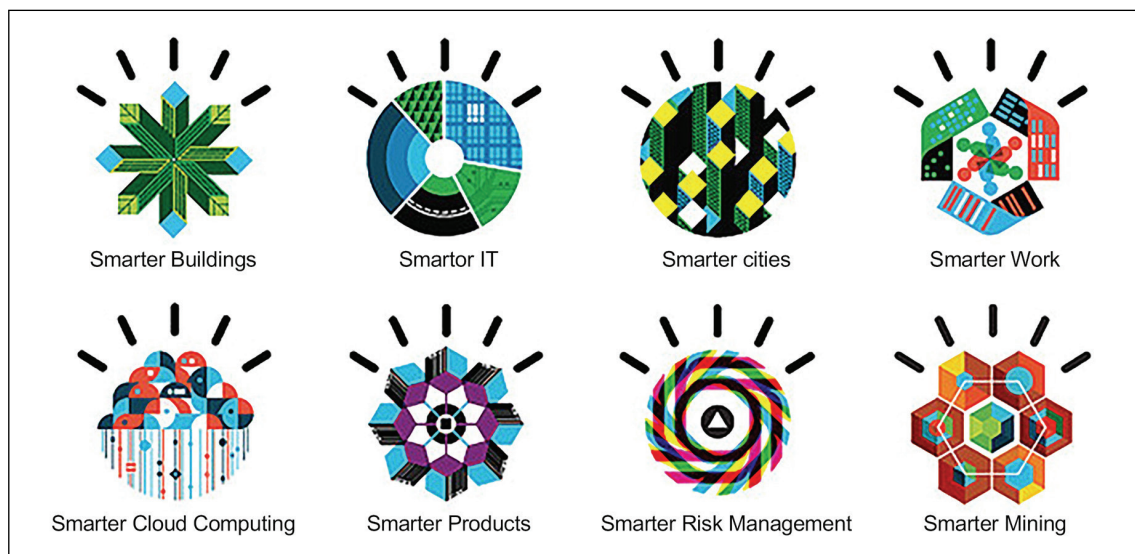
軌道交通智慧化帶來社會資源有效整合，可減少營運維修人員工作量及人工在調度管理模式下錯誤操作。軌道交通具有三十幾種專業，對專業人員的依賴性高，隨著軌道交通建設的加快，資源與人員越來越難以滿足需求，而透過雲平臺建設，除可大幅減輕人員工作量，亦可建立各專業系統間資訊即時共享，尤其是從路線到路網營運模式轉型過程中，可提供統一的智慧人員資訊執行平臺。智慧軌道資訊化建設將藉由「人工智慧技術、區塊鏈技術、雲計算、大數據、物聯網、建築資訊模型（BIM）技術、數字孿生技術、元宇宙」等技術，重新建構營運應用體系，朝向跨專業資訊整合，進一步提升軌道交通智慧化永續發展。

臺灣在全力推展軌道交通相關建設之際，惟有充分融入智慧化技術，有效結合臺灣強大的資通訊技術能量，使軌道建設智慧化、國產化，才能增進軌道運輸產業發展，打造智慧軌道交通系統，且進一步降低建設及營運成本，並提升旅客使用軌道交通的意願度、安全度及舒適度，進而達到促進地方經濟繁榮之目標及目的。

一、前言

IBM於2008年提出了智慧地球，其核心

是以更智慧的方法利用新一代資訊技術來改變政府、公司和人之間的交互方式，以提高交互的明確性、效率、靈活性和互動速度。智慧交通是智慧地球的理念在交通運輸行業的具體表現，而智慧軌道交通則是智慧交通在軌道交通（如鐵路、大眾捷運）領域的具體體現。智慧軌道交通是人類社會對軌道交通發展趨勢和運作模式的抽象表現，是軌道交通發展遠景的宏觀理念和建設目標，它以人類智慧與經驗為指導，以號誌和資訊的數字化處理為基礎，以物的智慧化資訊搜集為目標，以能實現人、機、物的全面互聯的全聯網（IoT）為資訊交換和資源共享平臺，建立軌道交通系統的控制與管理過程智慧化，使之具有更透徹的感知、更廣泛的互聯互通和更深入的智慧化處理能力，進而建構集人和人類智慧、軌道交通物理網路、全聯網、智慧資訊處理技術及各類數字化資訊為一體，且高效、便捷、安全、可視、可預測、環保和智慧的現代軌道交通系統。中國城市軌道交通協會於2020年3月12日正式頒布《中國城市軌道交通智慧城軌發展綱要》。該《發展綱要》按照「1-8-1-1」的布局結構，對智慧軌道交通進行了更系統的定義，即：創建智慧乘客服務、智慧運輸組織、智慧能源系統、智慧列車運行、智慧技術裝備、智慧基礎設施、智慧運維安全和智慧網路管理八大體系，使軌道交通更智慧化、快捷化及安全營運；建立一個城軌雲與大數據平臺；制定一套中國智慧城軌技術標準體系；對於軌道交通統籌規劃、上位設計、自主創新、重點



突破、分步實施。

近年來臺灣智慧軌道交通受到政策的加持而產生極大的發展潛能，並對軌道交通系統實施在地化，因應現代科技，軌道運輸產業正大步邁向數位化、網路化和智慧化的方向發展。

二、智慧軌道交通建設的趨勢與價值

1. 軌道交通的發展趨勢

(1) 軌道交通的定位發生變化

軌道交通的形成給都市帶來人流量和服務性質的巨大變化，進而影響都市土地利用和空間產業布局、都市空間結構與型態。軌道交通運量大、速度快的特點能夠把人流引向特定的地點並且在某個節點上集中大量之人流，此種特性決定軌道交通對於都市不僅

具有定位於交通運輸方面，更兼具都市公共空間、商業服務、文化宣傳、社會經濟等多種功能定位，因此發展出以軌道交通導向周邊開發（TOD），將軌道交通與都市規劃結合，軌道交通不僅僅是交通運輸功能，更帶動都市發展，並打造永續發展城市。

(2) 客運業務壓力不斷增大

目前都市軌道交通之客運服務，主要以人工處理為主，包含：人工諮詢、票卡處理、客流情況監控、客流疏導，而常態性資訊公告係以紙質版公告為主，缺乏智慧化的技術管控方法，尤其是在重大節慶活動，如跨年、大型演唱會等等，客流量瞬間加劇，需大量且快速處理，對於客流日益增加，傳統的服務方法難以有效處理。

(3) 營運管理效率有待提升

當前軌道交通管理所使用的自動化系統相對獨立，營運執行需要操作多個終端，為



應付不斷提升的服務需求，營運人員往往需定期執行人工巡檢。例如：需至設備現場進行操作，包括透過PSL（月臺門控制）進行月臺門手動開啟測試、開啟自動扶梯及無障礙電梯、開啟電捲門等；因此，智慧化程度極待提升。

(4) 乘客需求不斷變化和拓展

隨著互聯網資訊技術的普及推廣，乘客對軌道交通能提供之服務需求不斷提升，包括乘坐體驗多元性、資訊獲取多樣性、乘客導向及時準確性等，都須思考如何能更加滿足乘客使用上的需求。

2. 智慧軌道交通的預期價值

軌道交通主要為都市人口提供大眾化運輸服務，具有速度快、容量大、便利高的特點。放眼國外軌道交通，在新科技革命浪潮背景下推動的新一代資通訊技術，從根本上改革了軌道交通之運行、管理、服務方式，使軌道交通更加智慧化。例如新加坡捷運利用專案管理軟體於專案預算、計畫管控、成本及現金流、預測風險等方面進行營運情境分析，對乘客提供各種軌道交通即時資訊，以靈活應對市場之各種挑戰。

隨著臺灣軌道交通發展在前瞻軌道建設規劃下進入新型態，網路化營運逐漸形成，包括大臺北捷運系統、桃園捷運系統、臺中捷運系統、臺南捷運系統及高雄捷運系統，同時各縣市也發展輕軌系統，軌道交通在交通運輸體系中承擔著越來越重要的角色和作

用。臺灣軌道交通雖然對於各縣市要求整體路網規劃，但在建設初期採用一線一核，一核一建的方式，資訊系統基本上也是隨用隨建設，不僅各都市自行建設，都市與都市間也缺少統籌規劃，導致系統相對獨立，應用、數據、網路、設施設備等資源統合利用率不高。

軌道交通智慧化帶來社會資源有效整合，包括能降低營運維修人員工作量，減少人工調度下之人為錯誤操作；同時軌道交通智慧化能重整各設備及設備間介面，確保設計及生產技術、資源的有效整合；施工及偵錯標準化，有利於施工建設、設備偵錯及測試規範等明確實施；而營運管理手段也將在統一標準之基礎上得到持續改進和完善；且建立監測、監控和管理於一體之網路安全防禦體系，以實際行動落實「網路安全」理念，可確保軌道交通資安問題，防範因網路安全問題帶來之社會風險。

智慧軌道交通建構資訊化雲平臺系統建設減輕人工作業量，透過雲方案研發建立各專業系統間資訊共享，對軌道交通數據進行分析提升軌道交通營運效率與安全管控，尤其是從路線到路網營運模式之轉型過程中，提供統一的智慧人員資訊執行平臺，有助於提升整個軌道交通資訊化建設程度，以推動軌道交通智慧化發展。

此外，充分利用互聯網等資訊技術手



段，可打破資訊不對稱的瓶頸；透過數據共享和數據交換，可準確連接配置供需資訊，促進軌道交通領域資訊及資源開放共享和綜合開發利用，提供民眾多元化的資訊需求及跨越式發展服務。

三、智慧軌道交通建設途徑

智慧軌道交通建設透過感知層、執行層及應用層整合既有和新增功能模塊，在既有監控系統基礎上打造智慧化運行與營運管理系統，具備運行狀態全方位精準感知、運行趨勢智慧化分析預判、資訊指令一致化主動推送、運行規則擬人化自動進化功能。其中，資訊感知層透過既有機電號誌設備及建立新增智慧感知設備對於設備、客流、工作人員的全息感知。執行層透過結合既有系統及新增對於乘客的自主服務終端，在管理及營運網共同建立對於軌道交通的自動化運行及人員、施工、營運等綜合管理，最後在智慧化運行與營運管理系統建立整合智慧功能。該系統對於軌道交通管理採用人機高度共同合作的方式，目標建立對於乘客的全方位體驗、對於設備的全自動運行、對於運維的輔助性決策、對於事件的共管式聯動等運行效果。

1. 狀態感知

透過應用智慧傳感、影像分析等智慧感測技術，建立以新型感測為依據之軌道交通全自動智慧運行系統，進行對設備、環境、

客流、人員等對象的群體智慧主動感測與發現。透過多功能傳感器進行軌道交通環境的全面感知；依據影像智慧分析、WIFI 探測、AFC 客流等技術的綜合應用建立對客流的即時感測；應用智慧手持電子裝備建立員工高精度室內定位、人員佈設、路徑追蹤等功能。

2. 數據管理

集合各類即時數據、靜態數據、工作執行數據等，對數據進行分析、過濾轉換、加載等管理，進行軌道交通的全數字化管理。

3. 自動診斷

應用大數據智慧分析與決策技術、多源異構數據結合、智慧學習、設備消耗與健康診斷模型等，建立以軌道交通為建模對象之智慧運行系統，透過對各類營運情況下的運行數據分析，建立客流預測與預警、設備健康度分析、系統故障預警與診斷、突發時間智慧識別與聯動以及車站運行節能減排等應用功能，進行對於軌道交通運行管理與應急處置的智慧化營運輔助決策功能。

4. 軌道閉環

軌道交通管理工作需求，透過應用先進的資訊系統整合架構，並應用可視性交互系統、高效率人機共同合作、智慧化建模整合等技術，建構以可視化為核心的全自動智慧運行系統，建立基於軌道情境下的自動控制和預先聯動。



5. 持續進化

在軌道交通長期營運過程中，透過資訊化系統所積累的數據，利用雲計算、大數據、虛擬仿真、在線智慧學習、流式計算等人工智慧技術，建立局部區域的全自動智慧運行，包含對營運效果自我評估、運行策略自動修正與完善、調度決策分析建議、綜合節能、安全防範體系、綜合維修與狀態維修等，最終達到智慧軌道交通系統的持續進化。

同時持續進化根據狀態感知提供的數據管理、智慧診斷、軌道閉環等功能，進行數據建模，採用被動統計學習、主動學習、算法教學、演示學習、感測因果學習、增強學習等機器學習模式，建立智慧軌道交通核心大腦，並自動完備軌道交通的自我評估與車站運行策略。

四、創新技術在智慧軌道交通建設全生命期的結合應用

智慧軌道資訊化建設利用「人工智慧技術、區塊鏈技術、雲計算、大數據、物聯網、建築資訊模型（BIM）技術、數字孿生技術、元宇宙」等新技術，重新建構軌道交通整體應用體系，朝向跨專業軌道交通整合的方向，進一步進行軌道交通資訊化永續發展。

新技術與智慧軌道交通整合的目標包括

效率、人員、成本、安全四個方面，透過採用創新技術，提高軌道交通運行效率，減少營運人員數量和全生命周期總成本，保障軌道交通營運安全；在規劃設計、施工、營運全生命周期內確保軌道交通建設的系統投資降低、設備空間減少、管理效率提升、人員配置減少、運維成本降低、系統運能提升、安全風險降低。

1. 人工智慧技術

人工智慧透過電腦模擬人的思維過程和智慧行為，進而使得電腦進行更高層次的應用。人工智慧具備數據挖掘、機器學習、認知與知識工程、智慧計算等應用能力，是當前科學技術發展中的一門先進技術。

人工智慧技術已在各種不同領域上進行研發應用，自動駕駛便是一個很好的例子，臺灣在臺北、新北、桃園、臺南等，皆有大客車自動駕駛的場域及經驗，小汽車也採用自動駕駛結合電動節能減碳，諸如特斯



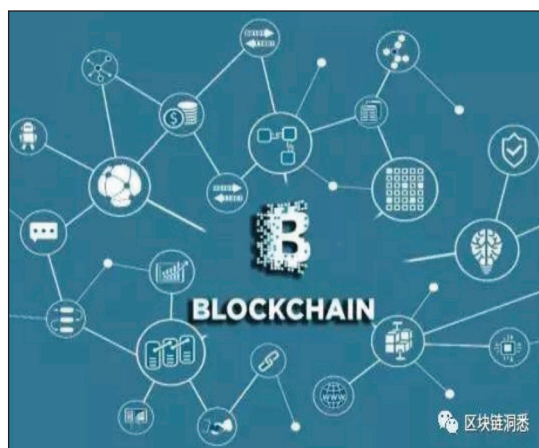


拉汽車等。自動駕駛運用感測器及人工智慧執行安全操作，尤其在行駛路線之規劃及執行，更需要人工智慧中之機器學習；人工智慧必須分析及解決不同任務，才能提供舒適安全便捷之自動駕駛。

在軌道交通領域的應用，相對於車聯網、醫療、金融、互聯網等行業而言起步較晚，目前為止人工智慧技術已逐步運用於軌道交通規劃設計、施工、營運等方面，並在實際的應用過程中發揮了作用，諸如軌道交通智慧收費模式、客流分析、智慧巡檢、智慧防護、智慧車站控制（包括空調及電扶梯等）、智慧人員管控等，能夠極大簡化實際應用流程、降低使用技術要求、提供系統智慧化程度及減少營運維修人員，人工智慧技術將推動未來智慧軌道交通的發展。

2. 區塊鏈技術

區塊鏈起源於比特幣，每個區塊為一個儲存過程，記錄各區塊節點交流資訊，透過哈希算法進行鏈結成區塊鏈，將用戶所有操作資訊永久記錄於區塊鏈且不可竄改。因此區塊鏈（Blockchain）技術是一種將數據區塊有序連接，並以密碼學方式保證其不可篡改及偽造之分散式分類帳技術。區塊鏈技術建立系統中所有數據資訊的公開透明且可追溯、不可篡改和偽造。區塊鏈核心技術本質為不依賴中心機構，在完全無信任基礎的前提下建立信任機制。區塊鏈技術服務與新型智慧都市建設相結合，可在資訊基礎設施、



智慧交通、能源電力等領域創新應用，提升都市管理的智慧化和精準化程度。

軌道交通系統具有三十幾種專業，需將各專業子系統智慧結合，才能建構高效率、安全可靠的軌道交通管理系統。為建立新型智慧軌道交通系統，將包括涉及大量的路網數據跨層次、跨區域、跨系統的高效率、有次序、低成本運作等。區塊鏈技術集合了點對點網路、數據加密、協商一致機制、智慧契約等優勢，可為可靠的軌道交通數據流通提供了一種低成本的解決方案，有效促進新型智慧軌道交通高程度發展。

目前軌道交通在營運過程中產生諸多數據，包括軌道交通本身工程數據，客流數據，安全數據等等，但這些數據多樣巨大且複雜，需進行分類分析，且數據儲存、維護、安全皆有其困難性，須訂定標準及流

程，區塊鏈技術利用其去中心化特點，可以對於軌道交通材料供應、調度、監控、通訊、收費等系統，進行區塊鏈結，且數據及資訊既獨立加密且可整體性運用，避免因其中一環之錯誤導致其他系統及區域無法操作運行，提高軌道交通運行之安全性。

3. 雲計算技術

雲端運算是透過網際網路（也就是「雲端」）傳遞伺服器、儲存體、資料庫、網路、軟體、分析、智慧功能等運算服務，以加快創新的速度，確保資源靈活，並加大經濟規模，提供企業方便且隨需求應變地透過網路存取廣大的共享運算資源，並可透過管理工作及服務供應者最少的互動，快速提供各項服務，具有共用資源、快速重新部署、隨需要應變服務等特性。目前已有都市嘗試使用雲原生技術進入智慧軌道交通建設領域，基於雲原生建構新的地理資訊服務方式，透過整合從原始數據獲取、數據中臺分



析到上層應用擴展的能力，利用雲技術建立線上即時處理數據，進而大幅提升效率。未來智慧軌道交通的建設有兩大要素：一是物理空間的全面數字化；二是空間規劃、監督管理等營運管理能力提升。在海量空間數據的基礎上，能否在線、即時、高效率處理數據將決定軌道交通的有效管理和營運效率。

雲計算技術在軌道交通之運用主要為軌道交通提供可整合管理、安全可靠的資訊化環境。軌道交通資訊不僅是即時數據處理，路網安全與維護要求格外重要，資訊管理從票務系統、客流管理、行控中心，到確保路網安全的環境、路況等資訊監測、搜集與處理。傳統數據中心已無法應付現代軌道交通資訊化需求，雲計算技術把傳統的軌道交通資訊應用及管理系統轉移到雲計算的大平臺上，將給軌道交通帶來巨大改變。雲計算技術利用雲平臺在線、即時、高效率處理數據在雲端提供快速有效資訊，讓軌道交通營運更加安全、快速、便捷，以及更加綠色環保。雲計算專家表示：「沒有應用就沒有雲計算的未來，沒有創新就沒有雲計算的生命力。」

4. 大數據技術

- (1) 大數據具有體量大、種類多、速度快、價值高等特點，經過挖掘分析可以在軌道交通建設領域得到隱藏的價值，軌道交通規劃設計、施工、營運維修等過程中會產生海量數據，且涉及大量的決策分析應用，針對軌道交通規劃設計，需



要有前瞻性，大數據技術在軌道交通中具有良好的應用前景。

軌道交通訊息資源整合應用：建立數據管理的統一標準，透過統一標準，避免數據混亂衝突、一數多源等問題，透過大數據品質管理，及時發現並解決數據品質參差不齊、數據冗餘、數據缺值等問題，規範數據在各系統間的共享流通，促進數據價值充分釋放，提高數據資源的利用程度。

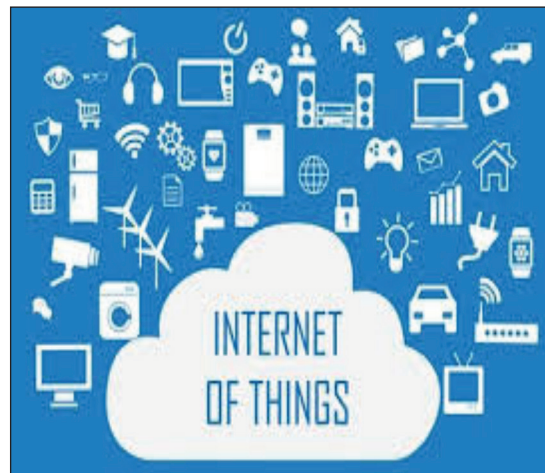
- (2) 軌道交通大數據分析應用：軌道交通大數據相當龐大，若沒有經過分析萃取，數據本身只是個數字而已，無法產生任何作用，透過軌道交通大數據的分析，提升軌道交通公共服務程度，譬如透過行為軌跡、社會關係、社會輿情等集中監控和分析，提供軌道交通營運指揮決策、緊急事件應急研判之參考依據。
- (3) 目前臺灣配合軌道交通建設，正發展以

軌道交通導向周邊開發（TOD），將軌道交通與都市計畫結合，打造永續城市，而軌道交通周邊區域開發，透過客流大數據分析，可了解客流來源及業種，對於區域不同產業發展及基礎建設配套措施，能起參考及支持作用。

5. 物聯網技術

物聯網（Internet of Things · IoT）是新一代資訊技術的重要組成部分。物聯網透過智慧感知、識別技術與普適計算等通訊感知技術應用於網路中，也因此被稱為繼電腦、互聯網之後世界資訊產業發展的第三次浪潮。物聯網技術在智慧建設、智慧工地、都市設施管理等領域有著廣泛的應用，提供可感知、可測量、可分析、可控制和可視化的智慧應用。

軌道交通客流量大，一旦發生事故，將會造成嚴重後果，臺鐵太魯閣事件就是一個



例子。為提高軌道交通的安全管理和應急效率，物聯網具有全面感知、可靠傳輸、智慧計算的特點，可在安全與應急領域進行運用，包括列車自動防護（ATP）、列車自動監督（ATS）、列車自動駕駛（ATO）等等；同時以臺北捷運文湖線為例，過去在木柵線時代通訊方式採用電線電纜方式，行車通訊傳輸較慢，內湖線通車後，利用物聯網技術，採用基於通訊的列車控制系統（Communication Based Train Control System）簡稱CBTC系統，CBTC特性為(a)不依賴軌道電路的高精度列車定位。(b)連續的車-地和地-車數據通訊網，比傳統系統可傳輸更多的控制和狀態資訊，使軌道交通號誌系統運作更為準確，且列車營運準時準點，縮短行車班距，不會有列車碰撞情況產生。(c)軌旁和車載核心處理器處理列車的狀態和控制數據，並可提供列車自動防護（ATP）、列車自動監督（ATS）、列車自動駕駛（ATO）功能。如此一來使得軌道交通列車行駛更為安全、資訊傳輸更為快速。目前政府推動5G大時代，更可利用5G快速傳輸的特性將軌道交通物聯網技術充分運用在軌道交通上。

在軌道交通工程施工時，可利用物聯網技術進行施工現場管理、物資管理、地下空間施工等方面的資訊化應用，包括人員、車輛、設備、環境、材料等管理，以及高大模板變形監測、塔吊運行監控、大體積混凝土無線測溫等安全和品質管理等應用過程，

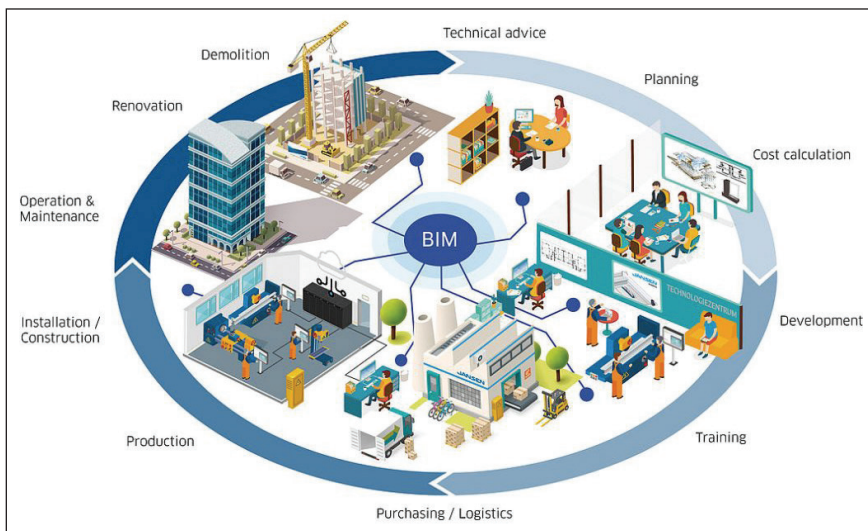
透過各種物聯網傳感器，即時自動獲取工地現場的揚塵、噪音、煙霧、溫度、濕度、風速以及用水量、用電量等數據，達到節約資源、提升效率、規範管理等目的，亦可將資訊化與工業化有效結合，提高工程施工品質、安全監控能力，以提升施工廠商之科技程度。

6. 建築資訊模型（BIM）技術

建築資訊模型（Building Information Modeling, BIM）技術由美國Autodesk公司在2002年率先提出，目的在於建立建築從設計、施工直至計畫結束的完整資訊。BIM技術的發展與應用，已被公認為繼CAD技術之後建築業的二次科技革命。

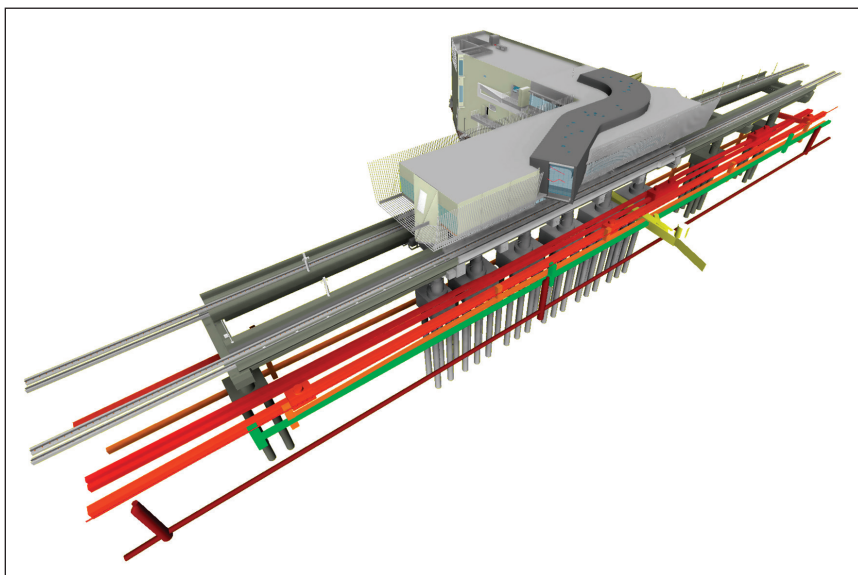
BIM技術乃應用於工程設計建造管理的數據化工具，透過參數模型整合各種計畫的相關資訊，在計畫策劃、運行和維護的全生命期過程中進行共享和傳遞，使工程技術人員對各種建築資訊做出正確判斷及作法，為設計團隊以及包括營運單位在內的各建設單位提供共同工作的基礎，在提高生產效率、節約成本和縮短工期方面發揮重要作用，目前已經在全球範圍內得到業界的廣泛認可。

BIM技術主要是透過建立虛擬的軌道交通工程三維模型，利用數字化技術，為建築資訊模型提供完整的、與實際情況一致的工程資訊庫。該資訊庫不僅包含描述建築物構件的幾何資訊、專業屬性及狀態資訊，還



包含了非構件對象（如空間、運動行為）的狀態資訊。借助這個包含工程資訊的三維模型，大大提高了工程的資訊整合化程度，進而為工程計畫的相關單位提供了一個工程資訊交換和共享的平臺。

BIM技術覆蓋軌道交通全生命期的特性將徹底改變整個行業固有的資訊獨立問題，用更程度的數字化及資訊整合對包括規劃設計、施工和營運維修在內的軌道交通全產業鏈進行優化。BIM技術主要應用包括資訊



桃園捷運綠線 G13a 車站 BIM 模型



整合、場地分析、策劃和討論以及可視化設計等。

在軌道交通方面，BIM技術可用於車站設計，BIM技術模擬車站設計之各項介面，除了能應用於初期軌道交通規劃設計外，更整合應用於後續施工階段及營運階段，提供完整的全生命周期應用，減少設計、施工及營運階段之介面及各階段內部介面之衝突。傳統軌道交通工程，營運公司可提出營運需求，納入規劃設計BIM模型，施工階段結合BIM模型及施工工序，進行BIM模型再修正，減少土機及機機介面衝突，加快施工時程及減低工程費用，並建設符合營運需求之軌道工程；軌道交通統包工程則可將營運公司需求結合設計施工，建立BIM模型，利用營運實際經驗，邊設計邊施工，滾動式優化，全過程建設。

7. 數字孿生技術

數字孿生（Digital Twin）概念由密西根大學的Michael Grieves首次提出，具體指「物理產品或資產的虛擬複製」。數字孿生的最大好處是不用費太高成本建造一個物理資產，就可以透過數字化技術進行相關操作，並且無需承擔物理資產損害的後果。

數字孿生因感知控制技術而起，因綜合技術整合創新而興。數字孿生都市是在都市累積數據從量變到質變，在感知建模、人工智慧等資訊技術取得重大突破的背景下，建



設新型智慧軌道交通的一條新興技術途徑，是軌道交通智慧化、營運永續化的先進模式，也是一個吸引高端智力資源共同參與，從局部應用到全區優化，持續更新的都市軌道路網創新平臺。數字孿生理念自提出以來不斷升溫，已成為新型智慧城市和軌道交通建設的熱點，受到政府和產業界的高度關注和認同。

數字孿生的主要核心是在網路數字空間中再造一個與現實物理軌道交通相對應的數字軌道交通，透過建構數字軌道交通與物理軌道交通相互對應配合、智慧操控的系統，使其與物理軌道交通平行運轉，透過虛擬服務現實，數據驅動管理，智慧確認一切等運行機制，進行軌道交通全數字化和虛擬化、全實時化和可視化、軌道交通運行管理智慧化，形成物理維度上的實體世界和資訊維度上的虛擬世界同生共存、虛實結合的都市發

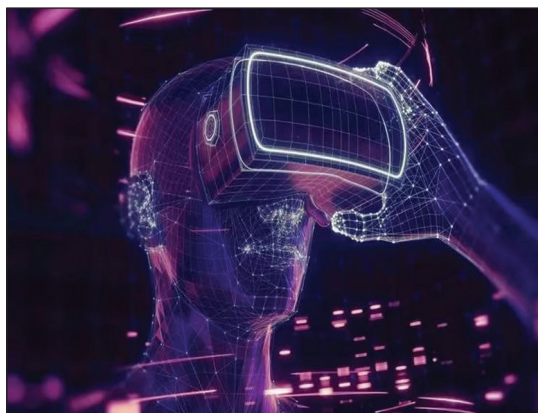


展新模式，是具有深度學習、自我優化能力的智慧軌道交通建設。

數字孿生技術可運用在軌道交通車站，利用過去相關軌道交通大數據及分析預測客流量，模擬新建車站營運狀況，建立數字化虛擬實體進行人流仿真模擬，軌道交通車站人流仿真模擬主要了解行人通行速率、設施數量、空間布設合理性等。人流仿真可模擬營運時人流出入動線，建立模型，以合理確認設計階段電梯、電扶梯及樓梯、自動收費系統、出入口等之數量及空間配置，車站大小及月臺長度等，同時也可模擬跨年、大型演唱會時人流出入動線，以進行人流疏導。

8. 元宇宙

關於元宇宙的概念最早可追溯於尼爾史蒂芬森在1992年的一部科幻小說「雪崩」，當時在網際網路尚未普及的年代裡，作者就



描繪出人們可任意穿梭於實體世界和虛擬世紀的觀念。而元宇宙就是指由現實與虛擬之間所混合而成的數位世界。維基百科對於元宇宙描述為透過虛擬增強的物理現實，呈現收斂性和物理持久性特徵的，基於未來互聯網，具有鏈結感知與共享特徵的3D虛擬空間。最根本的定義，即元宇宙是一個數字世界，它不是現實的物理世界，而是虛擬數字世界。



元宇宙與數字孿生不同的是數字孿生是以數字化方式建立物理實體之虛擬實體，借助歷史數據、實時數據、預測分析數據等，模擬、預測、驗證及執行物理實體全生命週期之技術，數字孿生技術係將物理與數字結合，物理實體與虛擬實體對應；元宇宙則為虛擬數字化型態的永生，與物理世界關聯性較小，在元宇宙下，人是以數字身份存在虛擬數字世界，獨立且脫離現實世界，支持數字孿生的技術包括網路及算力、人工智慧、模型建模（BIM、GIS）、顯示技術（VR、AR、MR），支持元宇宙的技術包括網路及算力、人工智慧、電子遊戲技術、顯示技術（VR、AR、MR）及區塊鏈，二者事實上有很多重疊，未來或許可在數字孿生的基礎下，建立元宇宙的部分虛擬世界，並且脫離物理世界，成為元宇宙的一部份。

目前工研院與臺北捷運公司合作，以工研院虛實整合實力結合MR（Mixed Reality，混合實境）技術運用，首創「文湖線電聯車MR擴增虛擬運用」系統。由於文湖線全線為無人駕駛系統，過去皆由車站站長、站務員擔任線上控制員角色，由於列車屬於封閉式車廂環境，一旦發生意外事件，不易緊急處理。此創新技術主要訓練軌道運輸人員，透過MR智慧眼鏡及仿真駕駛面板，模擬實際上路的情境。軌道運輸人員透過此沉浸式體驗訓練，幫助新進人員職前養成良好的駕駛操作程序認知及緊急應變能力。

五、結論

智慧軌道交通乃現今軌道交通之顯學，智慧軌道交通建設可透過整合感知層、執行層及應用層既有和新增功能模塊，在既有監控系統基礎上打造智慧化運行與營運管理系統，具備運行狀態全方位精準感知、運行趨勢智慧化分析預判、資訊指令一致化主動推送、運行規則擬人化自動進化功能，使得軌道交通在智慧化下得以整合且安全運行。

軌道交通智慧化帶來社會資源有效整合，可減少營運維修人員工作量及人工在調度管理模式下錯誤操作，而透過雲平臺建設，除可大幅減輕人員工作量，亦可建立各專業系統間資訊即時共享，尤其是從路線到路網營運模式轉型過程中，可提供統一的智慧人員資訊執行平臺。智慧軌道資訊化建設將藉由「人工智慧技術、區塊鏈技術、雲計算、大數據、物聯網、建築資訊模型(BIM)技術、數字孿生技術、元宇宙」等技術，重新建構營運應用體系，朝向跨專業資訊整合，進一步提升軌道交通智慧化永續發展。

臺灣在全力推展軌道交通相關建設之際，惟有充分融入智慧化技術，有效結合臺灣強大的資通訊技術能量，使軌道建設智慧化、國產化，才能增進軌道運輸產業發展，打造智慧軌道交通系統，且進一步降低建設及營運成本，並提升旅客使用軌道交通的意



願度、安全度及舒適度，進而達到促進地方經濟繁榮之目標及目的。

參考文獻

1. 林忠正，「軌道交通前沿」，全華圖書公司，2021年7月21日
2. 同炎資訊 20211102 期，重慶同炎數智公司，2021年11月2日
3. IBM 公司
4. 林同棧工程顧問公司
5. 林同棧國際工程諮詢（中國）公司
6. Google
7. 維基百科