

數位雙生在交通領域之應用-以智慧充電為例

Digital Twins in the Transport Field-A Case Study on Smart Battery Management Systems

運輸資訊組 王瑋瑤、吳東凌

研究期間：民國111年1月至111年11月

摘 要

數位雙生(Digital Twin) 係指一個實體產品的數位虛擬分身，也就是每個產品均由兩個系統組成：一個為始終存在之實體系統，另一個則為包含所有實體系統資訊之虛擬系統(即分身系統)。這個分身具有真實世界的一切元素和特質，可以在虛擬世界裡模擬真實世界運作的情況，且不只是映射數據，更能透過分析並應用於模擬，協助我們了解實物的相應部分如何動作。透過數位雙生技術應用於電動車能源管理，盤點充電資源，並可就電動運具充電排程，可解決原本每一輛運具需自行負擔充電設施之成本，並減少用電負載痛點、提昇充電稼動率，設計多目標(如：成本、效益、性能)與高彈性(如：固定式或移動式)充電最佳化設計，未來可應用後臺資料，研提公共充電場域較高效能之設計規格分析及整合創能、儲能到能源管理的全方位解決方案，優化充電系統配置。

關鍵詞：

數位雙生、Digital twins、智慧充電。

數位雙生在交通領域之應用-以智慧充電為例

一、計畫背景

(一)研究目的與緣起

數位雙生(Digital Twin) 係指一個實體產品的數位虛擬分身，也就是每個產品均由兩個系統組成：一個為始終存在之實體系統，另一個則為包含所有實體系統資訊之虛擬系統(即分身系統)。此概念最早起源於 2002 年密西根大學(University of Michigan)之 Michael Grieves 教授在其產品生命週期管理(PLM)課程演講中所提出之理想概念，並且於 2014 年在其所撰寫的「Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication」一文中進行了詳細的解釋：以電腦等相關設備把實體世界的物件在數位世界裡生成一模一樣的虛擬分身，這個分身具有真實世界的一切元素和特質，可以在虛擬世界裡模擬真實世界運作的情況，且不只是映射數據，更能透過分析並應用於模擬，協助我們了解實物的相應部分如何動作。數位雙生透過真實世界的實體系統蒐集資料，提供給軟體世界中的虛擬分身，企業就可根據數據進行分析、預測，甚至可以在數位環境下進行各種情境的模擬與測試，可透過預防方式介入，以防患未然。

數位雙生和一般傳統 3D 模型不同之處，在於數位雙生於虛擬城市分身與實際城市中透過即時數據串流連動，協助準確分析真實城市中發生的情況、測試未來的性能、評估可能的風險，提高城市規劃效率、減輕環境影響和降低成本。

數位分身連續在 2017~2019 三年被顧能(Gartner)納入十大技術趨勢預測，在該公司發布的 2018 年新興技術發展週期報告(Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018)指出，數位分身與區塊鏈、數據安全區塊鏈、物聯網平臺和知識圖譜等技術，將構築一數位化的生態體系(Digital Ecosystem)。又 2020 年新冠肺炎疫情爆發後導致全球數位化的步調加快，根據 Nokia 公司的估計：全球數位通訊的普及程度被加速提前了六年，同時加上 5G 網路的帶動，預計在 2030 年，全球在 ICT 產業的投資將達到 4.5 兆美金的規模。其中，資、通訊系統的數位化是數位雙生得以實現的基礎，再加上因為疫情影響使遠距上班或會議成為新常態(New Normal)，進一步提升了產業對數位雙生的需求。依據 ABI Research 報告指出：2025 年預計將有 500 多個城市採用數位雙生應用於城市規劃，如：綠色基礎建設管理、智慧交通運輸、緊急應變等。且預估到 2030 年，利用數位雙生可協助進行

更有效的都市規劃，節省的成本將高達 2,800 億美元。國際標準組織也開始了標準化的工作，雖然僅剛起步，但是未來此趨勢的應用相當顯著。

因應經濟部工業局、資策會等單位陸續發起之數位雙生元年及智慧國土相關計畫，國內業者期望擴大數位雙生創新應用商機並催生「臺灣數位雙生共創國家隊」，同時邀集國際間具影響力的廠商擔任技術協力合作夥伴，除廣續舉辦系列交流活動，連結產官界單位共同觀摩，攜手促進我國產業數位雙生領域跨界發展。為探討數位雙生於交通領域的可行性，希望能結合人工智慧、大數據、5G、IoT、雲端、區塊鏈等新興科技，發想交通界之應用案例。

能源管理一直是電動運具後續研究的重點，然而，其涉及內部反應相當複雜，電池老化、安全等也都是問題所在。鑑於數位雙生概念近年已有研究成果，且交通領域也持續導入應用，透過利用數位雙生概念解決當前電動運具能源研究的瓶頸，探討在電池建模、狀態估計、剩餘壽命預測、電池安全與控制等各方面的應用，協助找出電池管理系統中電池數據模式、即時狀態預估、動態充電控制、動態熱管理和動態均衡控制等，希望透過數位雙生概念瞭解其趨勢、挑戰及未來提供之發展機會。

IEA 發布「2050 全球能源部門淨零排放路徑」提出交通部門要達零排放目標，全球已超過 20 個國家訂定車輛電動化時程表，其中電動車能源補給議題將為支持電動車發展之重要施政方針。為配合 2050 淨零碳排相關上位政策，臺灣淨零碳排路徑圖指出 2030 年前「節能、綠能、減碳極大化」為主要方針，其中運具和製造的電動化勢在必行，交通部將配合推動電動運具，未來電動運具之能源補給議題勢必需提前因應規劃。基上，本研究規劃以智慧充電站數位分身為研究主題，希望透過數位化與智慧化升級，探討後續之挑戰與機會。

(二)研究範圍

- 1.已發展及刻正規劃發展本案相關應用之國家或區域。
- 2.主管機關：交通單位、能源單位、資訊單位等。
- 3.出資單位：核准相關預算、欲投資相關產業者等。
- 4.建設單位：可提供相關應用服務之運具、場站業者等。
- 5.系統商：提供相關應用服務之系統建置、維運廠商等。

二、數位雙生應用案例

(一)國內交通領域之應用

1. 交通部科技顧問室-淡水新市鎮 5G 智慧交通實驗場域 3D 戰情中心

交通部的「智慧交通虛實整合解決方案」以數位分身為概念運用於「淡海新市鎮「5G 智慧交通試驗場域」，此案委由華電聯網、英研智能、義隆電子、研華科技、美超微電腦及磐儀科技等廠商使用 AI 邊緣運算技術應用；3D 戰情中心部分，結合全球動力科技展演 3D 戰情中心，利用數位分身 (Digital Twin) 概念展示淡海新市鎮試驗場域之即時交通車流及路況等交通資訊，以說明未來 5G 於智慧交通科技之應用。

傳統戰情中心 Central Management System (CMS) 數據細節的分層級顯示，容易因資訊傳達落差影響決策，而全球動力科技 Big x Reality 的「智慧交通監控系統 (3D Smart Traffic System)」突破傳統盲點，結合大數據、物聯網、3D 影像、數位雙生等技術，將以往 2D 的圖台資訊導入 3D 可視化中央管理平台，做到真正讓管理者一目瞭然的虛擬戰情中心，滿足管理者的數據分析需求，引領最佳判斷能力。

藉由「智慧交通監控系統」數位分身應用，為「淡海新市鎮交通試驗場域」提供交通環境及智慧電動車輛管控監測，多元整合包含多維度電子地圖、智慧交通即時監控、地圖及環境參數管理、介接新北市自駕巴士即時動態資訊等，串聯 AI 影像辨識應用及交通感測器聯網應用顯示，掌握不同訊號及交通號誌管理，藉此達到完善的風險管控。同時也可將資訊統一匯集、分析，創建未來決策模型，提供交通指揮中心監測管理，進一步打造未來智慧交通自動化目標，增進道路運用效率及安全性，為人們打造安心、便利的生活環境。



2. 交通部觀光局-海陸漫行

「海陸漫行」由交通部委託 Taiwan AI Labs 開發臺灣第一個虛實整合的智慧觀光計畫，致力使海內外旅客即使不出門，也能輕易透過 360 全景平台「身歷其境」，以自己的視角和步調體驗台灣的美。其整合 5G、AIoT 與人工智慧空間建構技術，並與多名導演合作，運用一般 360 影像建立數位雙生的移動建構技術（Structure from Motion）、空間理解強化與第一人稱視覺適應（View Adaptation）而建置觀光旅遊場景之數位雙生，並由數位雙生技術生成動態觀光。

海陸漫行的先導計畫，由建置團隊帶領旅客的視角隨媽祖遶境、遊日月潭、登阿里山等，使用數位雙生技術並以第一人稱視角帶給數位觀光客如臨現場的精彩，此類新型態觀光旅遊體驗有興趣的導演與台灣人工智慧實驗室合作製作新旅雙生內容，民眾可透過個人裝置體驗沉浸式觀光，也開放設備業者提供裝置創新服務。



圖片來源：交通部觀光局

圖 2 海陸漫行

(二)國際交通領域之應用

目前已有眾多國際都市應用數位雙生，從事城市基礎建設的規劃，例如：改善交通、路燈規劃等。隨著各國推動「淨零排放」相關政策，「永續」已成各城市智慧化轉型的最重要目標，國際應用案例如下：

1.美國-聖地牙哥

美國聖地牙哥政府協會（San Diego Association of Governments）導入數位雙生技術，建立城市的數位模型，並模擬不同情境下的交通狀況。透過數位分身，該協會可以在幾個小時或幾天就得到不同方案的模擬結果，而不是像以前一樣需要幾週的時間，有利於縮短專案的時程。未來當無人車成

為常態的時候，聖地牙哥的數位分身模型也將無人車納入使用交通運具選擇之一。聖地牙哥的數位分身也可以幫忙處理即時的交通資訊，每三分鐘分析道路交通流量，並可以在事故發生的時候導引車流到其他替代道路。現在，聖地牙哥政府協會正在研究如何運用人工智慧更快速地發現事故，及時在尖峰時刻導引上萬名通勤者避開交通阻塞。

2. 澳洲-路網決策系統

澳洲政府的智慧城市計畫已將建造 3D 數位雙生模型子計畫納入，俟數位雙生模型建置完成後，使用者可查看即時交通相關訊息，例如：因應道路封閉改道之替代路線等，數位雙生技術可以使導航地圖更為精確，即時反應刻正發生的事件，此項技術可以廣泛應用於都市計畫軟體以及工程專業評估，以掌握更多機會與挑戰。

澳洲應用數位雙生技術於市區道路及高速公路、都市計畫、維修警示等。建置市區道路及高速公路的數位雙生模型有助於更有效率地進行規劃旅次路線，其建置之 RapidMap 內有大量且更符合真實世界交通流的資料可以供決策者滿足交通需求、解決現有瓶頸及未來建設計畫；此外，數位雙生模型可記錄及測量部分設施，例如：橋梁、高架標誌、路燈、柵欄、障礙物、路上的反射鏡、護欄、標誌牌、樹木及植栽等高速公路上常見設施，有助於規劃旅次路線。鑒於人口成長，鄉鎮需要都市計畫評估是否升級為城市，爰可運用數位雙生技術佐以人口成長數據預測，俾利都市規劃及都市設計，尤其數位雙生模型可視覺化呈現設計，並且結合於 3D 城市及環境模型中。



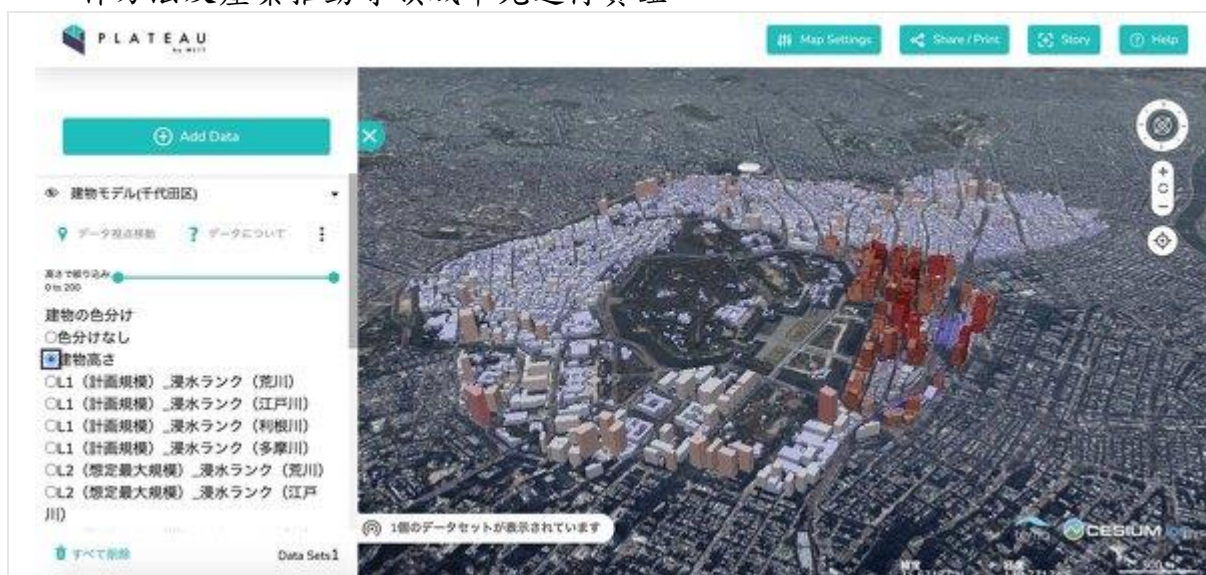
圖片來源：<https://rapidmap.com.au/digital-twin/>

圖 3 澳洲數位雙生模型應用於道路設計

使用數位雙生地圖的優點為應用範圍廣泛，除了設計師、規劃師和建築師，民眾透過數位雙生地圖可協助改正問題，因此危險的路段將會減少，並可以更準確地預測旅行時間及規劃最佳路線、紓解交通瓶頸，並能達到更有效率的物流運輸。

3. 日本-東京 Tokyo Metropolitan Government

東京都政府宣布將開始使用數位雙生技術於建造道路於虛擬空間，並將展開示範計畫，同時將納入真實世界的日照、級風以及交通狀況，並反映於虛擬空間，國土交通省開展了數位雙生計畫，並命名為「PLATEAU」，並規劃在防災、都市計畫、交通控制、能源效率、自然環境共生、健康、教育、工作方法及產業推動等領域率先進行實證。



圖片來源：日本國土交通省官方網站

圖 4 日本 PLATEAU 數位雙生模型

三越伊勢丹百貨公司於 2021 年 3 月在新宿啟用數位雙生示範計畫，並應用上述國土交通省的 PLATEAU 數位雙生模型，使用者可以透過分身與朋友逛街購物。



圖片來源：三越伊勢丹百貨公司

圖 5 三越伊勢丹 PLATEAU 數位雙生模型應用

4.新加坡-「虛擬新加坡」(Virtual Singapore)智慧城市

2014 年，新加坡政府與達梭系統 (Dassault Systèmes) 合作開發新加坡的數位雙生「虛擬新加坡」，讓用戶得以 3D 的方式檢視整個城市隨著人口成長、新建設和其他主要活動的發展與成長。新加坡的政府與企業也能透過這個數位雙生模型，隨著人口成長變化，針對各項建設與專案實驗、研發、

規劃與決策。



圖片來源：3ds.com

圖 6 虛擬新加坡數位雙生模型應用

5. 荷蘭-數位雙生智慧城市「Smart City Monitor」（智慧城市監控）

獲得歐盟 80 萬歐元補助的荷蘭數位雙生智慧城市專案，透過「Smart City Monitor」（智慧城市監控）平臺，此平臺結合人工智慧、智慧定位、即時數據、商業智慧、深入分析遊客和交通流量，並提供空氣品質等領域的統計數據，助於提供永續交通與城市綠化解決方案，未來將不同數據聯繫起來將有助於持續為交通和城市綠化提供解決方案。



圖片來源：<https://buildindigital.com/dutch-digital-twin-project-wins-eu-funding/>

圖 7 數位雙生智慧城市「Smart City Monitor」

6.英國-環境影響評估降低基礎建設對環境的衝擊

英國的空氣汙染、水資源、甚至工業汙染數據已相對透明，唯獨基礎建設（如：商用及住宅不動產、鐵公路、橋梁、水庫等）在開發階段造成的環境衝擊，尚未有效評估。因此仿效工業 4.0 的「數位分身（digital twins）」，英國打造出與開發現場條件一模一樣的數位虛擬環境，蒐集即時資料輸入 AI 模型進行環境影響評估，以降低基礎建設對環境的衝擊，例如現場的溫度、人流、二氧化碳排放量、甚至樹木的落葉量，進行電腦輔助分析，可計算出環境衝擊，要求開發商負起永續責任。這個專案採用許多新式感測技術如：無人機、衛星影像、雷射光學感測器，來取得環境數據，使用數位雙生技術能讓資料蒐集速度比傳統人力測量快了 400 倍以上。

7.芬蘭

赫爾辛基利用數位雙生打造開放數位城市模型，蒐集並分析綠色基礎設施的數據，以在 2035 年之前實現其淨零碳排為首要目標，利用開放平臺不僅增加年輕族群對於城市基礎建設的興趣，並有益於企業或研究單位開發應用。

三、應用技術

(一)數位雙生關鍵技術

1.大數據

大數據係指龐大的數據資料難以儲存、處理的數據量，並且無法使用傳統方式進行數據分析，大數據的定義是模糊的，並涉及了數據識別及轉換的過程。IBM 公司提出「5V」特性定義大數據，即：數量(Volume)、種類(Variety)、價值(Value)、速度(Velocity)、準確性(Veracity)。大數據平臺應具備綜整、儲存、管理、互動、分析、視覺化呈現等功能，且需考量資安問題。數位雙生之數據資料結合了更多來源、更多種類、結構不同且龐大的資訊來源，例如：感應器數據、模型生成數據、虛實整合數據等。大數據可從數位雙生模型中產生的大量數據中萃取出更多有價值的資訊，有助於用來解釋和預測真實事件的結果和過程。數位雙生模型與大數據在數據類型等方面存在部分相似性，或者說在某種程度上，可以認為數位雙生將會是大數據與真實世界之間的橋樑。

利用數位雙生於智慧充電須善用大數據進行智能管理，於每座電動巴士場站，都須依據進駐的車輛數，安裝對應數量的充電樁。每次充電時，透過充電樁的軟體，每輛巴士的充電時間、充電總時數、行駛里程數等資料都會回傳至電動巴士廠商，與客運公司的後臺管理中心，這些數據經過計算後，最後也會得出每度電可以行駛的里程數，成為客運公司營運調度和成本管控的依據。

2.人工智慧(AI)

人工智慧是利用機器模擬人類的意識及決策，其四個主要子領域包括：機器學習、語言直覺處理、語音處理和機器視覺，發展重點在於模擬決策與數據分析的過程和能力，人工智慧可大幅提高人類預測的能力，並為世界做出貢獻，因此非常具商業資產價值。

人工智慧具有相當廣泛的應用，且其中機器學習是電池領域最重要的演算法之一，機器學習是一種從數據中自動分析並歸納其規則，並利用規則進行後續推理或預測。因此，人工智慧和大數據往往相輔相成，數位雙生利用具高度真實性的虛擬模型、大量數據、即時雙向互動，以實現仿真、判斷、預測、提升控制效能等功能。人工智慧對數位雙生模型產出之數據進行分析、整合和深度應用，以完成不同需求的服務。在人工智慧的支持下，利用數位雙生模式可以大大提升數據的價值以及各種功能的響應性和準確度。

3.物聯網(IOT, Internet of Thing)

物聯網透過配有感測器、軟體、無線射頻辨識(RFID)和其他技術的互連物件和設備，與其他設備及系統傳輸和接收資料，方得以傳輸和處理訊息。2021 年全球已有超過 100 億臺物聯網裝置，在短短的幾十年中，物聯網資料呈指數式增長。物聯網的演進也結合並同時推進一系列特定的技術，例如：感測技術、運算能力、大數據技術、人工智慧與機器學習、雲端運算等。

物聯網的設備和服務被視為類似梯子般的連結通路，可以用來蒐集、產生、分析和傳輸從真實世界到虛擬世界的數據資料。數位雙生模型產生的數據多半也具有大數據特性，智慧充電數位雙生模型更可以在輸入數據資料不完整的情況下，利用這些數據通過機器學習技術預測電池的未來狀態。

4. 雲端

透過雲端設備可儲存比日常使用量更大、種類更多的訊息。此外，數位雙生需要即時最佳化模式、行為預測等，而這些預測過程都需要龐大的運算能力。運算速度過慢會使模式跟進速度不足，而致延遲反映。控制系統逐年擴充功能，可以增加演算法複雜度和處理的數據量。由於單純機上處理(on-board processor)無法滿足需求，而雲端運算可即時更新系統。未來，處理、分析和控制決策訊息都將在雲端平臺上進行，鑒於數位雙生產生的數據量大、算法複雜，數位雙生勢必將與雲端運算結合。

5. 區塊鏈

區塊鏈是互聯網時代以來最具顛覆性的創新技術之一，依靠複雜的密碼學來加密資料，再透過巧妙的數學分散式演算法。使互聯網最讓人擔憂的安全信任問題，可以在不需要第三方介入的前提下讓使用者達成共識，以非常低的成本解決了網路上信任與資料價值的難題。

區塊鏈有幾個最重要的特色，首先是「去中心化」，為了強調區塊鏈的共享性，讓使用者可以不依靠額外的管理機構和硬體設施，即不需要中心機制，因此每一個區塊鏈上的資料都分別儲存在不同的雲端上，核算和儲存都是分散式的，每個節點都需要自我驗證、傳遞和管理，這個去中心化是區塊鏈最突出也是最核心的本質特色。區塊鏈的另一大特色是其「不可竄改性」，區塊鏈中的每一筆資料一旦寫入就不可再改動，只要資料被驗證完就永久的寫入該區塊中，其中的技術是透過演算法一對一的函數來確保資料不會輕易被竄改，這種函數很容易可以被驗證但卻非常難以破解，無法輕易回推出原本的數值，資料也就不能被竄改，每個區塊得出的值也會被放進下一個區塊中，讓區塊鏈之間的資料也都被正確的保障。

數位雙生的核心是數據的整合和分析，並降低數據管理方面可能存在數據洩露、惡意篡改等風險，也就是要實現對系統的信任，必須解決數據可信

度問題。數位雙生與區塊鏈結合的優勢主要在於保證數據在儲存和傳輸過程中不會被篡改，俾反映數位雙生模型。

6. 小結

數位雙生使用以上新興技術，應用各種技術合作才能反映真實世界的複雜感之行為，透過多尺度且擬真度高的模型、高效安全的數據傳輸、客製化智慧功能，方使數位雙生反映出真實世界。

(二) 數位雙生技術優點

1. 測試便利可縮短產品開發週期與成本

囿於成本和空間考量，製造業往往在研發新產品受到限制，然虛擬空間內沒有物理條件限制，使用數位雙生技術可以更容易及更方便測試新產品，且能大幅減少成本；由於是在虛擬的場域，即便測試失敗，依舊可以減少風險。在品質保持的同時，降低成本、縮短開發時間，更有助於少量多樣的生產模式。

2. 降低維護成本俾提升服務品質

當產線出現錯誤警訊時，可以更即時找出問題出處以及成因；且即便已配送的產品發生問題，也能透過檢查虛擬空間的數據找出原因，減少爾後再次出錯。成功生產實物後，我們可以透過資料回傳，建立新的數位雙生，使用者得以在虛擬環境下即時監測實物，降低維護成本；廠商也能透過數位雙生，蒐集使用者的使用問題，提升售後服務的品質。

3. 成本降低

原型機測試是新品開發必經流程，測試過程雖然取決於開發商品的類型，然在真實空間測試的投入成本勢必較高。以汽車為例，傳統測試方法是由駕駛直接乘載測試車輛，並多次駕駛測試；然透過引入數位雙生技術，可以在虛擬空間進行這些操作來節省測試成本。

4. 提升產品與企業價值

當數位雙生應用於整條產品生命週期上，能讓這些數據具有連續性，透過串連研發端至服務端的資料，因而能從各方面提升產品的品質與價值。例如：讓研發與製造部門更了解彼此狀況，解決理想與實務之間的問題；研發部門能取得實際使用數據，挖掘使用者使用需求，進而提升產品價值。

四、智慧充電數位雙生模型

(一)電池管理系統(BMS, Battery Management System)

能源管理有三個重點領域：電池、電池管理系統、電力網格(Power Grid)。其中，電池是電動車的關鍵零組件之一，而控制這些串聯電池組的軟體就是電池管理系統。電池管理系統是新能源汽車必備的重要部件，與動力電池組、整車控制系統共同構成新能源汽車的三大核心技術，該系統目的主要負責對車輛中的電池進行監控和管理，並提供警告和保護功能，從而延長電池壽命，透過管理並優化電池系統的使用，方可讓電動車的電力使用達到最佳化，以符合使用者的需求。而內置了許多電池的電動車便不再只是「載具」，同時也是能源儲存的「載體」，因此電力網格領域探討的重點便是把儲存於電動車的能源在必要時將其返回到電網，就是所謂的「汽車對電網」(V2G, Vehicle to Grid,)。

電池管理系統是對電池進行管理的系統，通常具有量測電池電壓的功能，防止或避免電池過放電、過充電、過溫度等異常狀況出現，隨著技術發展，已經逐漸增加許多功能。電池管理系統之對象通常是可再次充電的二次電池，近年來大多搭配鋰離子電池組同時出現。此外，近年熱門議題電能管理系統(EMS, Energy Management System)與BMS類似，但BMS僅針對電池進行管理，EMS則概括了所有類別能源管理。

1.電池管理系統常見功能

電池管理系統主要技術可監控電池狀態、保護和警報電池安全、主動/被動能量平衡設計、檢測洩漏(例如：過放電、過充電、過溫度等)等。

目前已知的常見功能含：電壓量測(必備)、通訊、電池荷電狀態(SOC, State of Charge)估算、電池健康狀態(SOH, State of Health)估算、異常警告、異常保護、均衡(被動均衡或主動均衡)、其他管控電路(如電池迴路繼電器控制)、溫度量測、電流測量、診斷、搭配充電器提供對應充電策略等。

2.電池管理系統常見應用需求

(1)資通訊設備，例如：手機、MP3播放器、錄音筆、筆記型電腦等。

(2)電動運具，例如：電動腳踏車、電動自行車、電動代步車、電動二輪車、電動機車、老人代步車、電動車、純電動車、電動汽車、電動船等任何有使用電池並且需要充電的裝置、儀器或載具等。

目前國內能源公司之電池管理系統部分，已可展示 150kW DC 直流充電樁搭配 LMS(Local Management System)現場電池管理系統，並可進行電量

分流、充電排程及監控即時充電狀態等，並能提供各個場域智慧掌控充電狀況。

3. 電池狀態估計和剩餘使用壽命(RUL, Remaining Useful Life)預測

電池的電化學反應過程和反應階段複雜且難以確定，車輛運行的工作條件複雜。為了使電動車有效率及安全運行，電池 SOC、SOH 估計和 RUL 預測非常重要，且為電動車的能源管理和安全管理之重要數據參考。此外，SOC 和 SOH 的變化會影響電池模型參數，導致電池模型無法準確預估，爰難以獲得準確的 SOC 和 SOH 值。

電池管理系統當前面對的問題在於電池老化過程中電池內部參數的變化當前仍難以準確估計，因此也難以精確預測剩餘使用壽命，爰透過車載設備及電池管理系統結合相關大數據分析，增進能源管理效益。

(二)智慧充電管理系統數位雙生模型建置規劃

透過瞭解智慧充電管理系統之環境條件，研擬智慧充電系統功能、場域規劃班表預排、研擬最佳充電排程策略，並建置智慧型充電排程管控平臺。透過現有的電池建模、模型參數估計、電池狀態預測等方法，步驟說明如下：

1. 開發輕量型或重量型的電池模型

電池模型已經成為供電應用中不可或缺的工具之一，智慧充電應用數位雙生的第一步驟是開發可靠的電池模型，此項應用對安全及效率非常重要。根據輸入和輸出的關聯方式，電池模式可分為：經驗模式、半經驗模式、物理模式和數據模式；根據不同的充電類型，電池模是分為：電氣模型(ECM)、電化學模型(P2D)、熱模型、機械模型、跨組合模型。

能快速準確的辨識電池管理系統的模型參數是電池模組開發人員及工程師的願景，從成本計算的角度來看，電池模型可區分為輕量型或重量型，並以下列為區分因素：模型的電池動態顯示情形、參數數量、演算時間、準確率、是否容易被理解以及執行的複雜度。

2. 現實世界電池模式參數充電/放電循環之影響分析

近年雲端服務已和車載充電管理系統相互交換數據，然長時間使用電池後，電池模型參數並不總是能充分模擬電池的實際狀態，此外，隨著電池不斷使用，電池模型的狀態估計結果與實際電池狀態越來越不準確。爰此，學術界持續實驗及研究真實世界內充電/放電循環對電池的影響以及相關造成的變化。同時透過追蹤參數模型的演變，推斷出電池隨時間退化的機制。

目前已知電池退化的影響因素包含：使用年限、循環次數、溫度、充電

電壓、循環頻率等，了解在循環過程中電池壽命因素對於設計智慧充電系統加上數位雙生技術非常重要，由於每個影響因素的實驗結果和定量敏感性分析太大，從智慧充電引入數位雙生技術的發展性看來，環境條件仍具實驗和模擬必要。

了解循環老化對於模式參數之影響將有助於模型簡化、估計生命週期不同階段之電池狀態以及增進充電管理系統的演算法，此外，將有助於電池設計人員在評估電池在不同工作條件、應用環境下如何退化。

3. 模式參數校估

由於電池在充電期間無法卸載，因此僅能透過充電管理系統內傳感器的數據資訊及電池使用現況(例如：充電、放電及實驗數據等)做為數位雙生參數化的基礎數據。儘管模型的開發是透過實驗數據驗證得來，但過程中的參數是不斷變化的。數位雙生模式校估需要在一定數量的週期後重新訓練，以目前較新的參數更新方法而言，使用目前的充電系統模式和透過數位雙生技術之充電系統模式仍存在差距。

4. 模式更新步驟

電池建模常用的軟體程式語言有 MATLAB、COMSOL 或 Python 等，透過輸入實驗數據識別參數，俟建立電池模型後，估計充電狀態，上述為建立智慧充電數位雙生模式的初始步驟，後續將持續導入真實世界電池循環的資料(例如：電壓、電流、溫度等)，透過常用軟體程式語言進行運算，持續更新數位雙生模式。

5. 量化電池數位雙生之關鍵績效指標(Key Performance Indicators, KPI)

為了支持未來整體智慧充電應用數位雙生技術的發展，量化和值化的參數考量面向說明如下：

- (1) 投資面：智慧充電應用數位雙生技術對最適化成本的影響、建立電池充電系統到電池模型數據採集的成本、資料儲存的成本(例如：雲端伺服器、記憶卡等)。
- (2) 時間成本：能源管理最適化分配相關演算法、從應用程式擷取電池管理相關數據並使用數位雙生反應的時間、執行參數更新步驟的時間等。
- (3) 準確度：確認參數的精確度、預估參數的精確度。
- (4) 功能面：應用數位雙生可以提供相關利害關係人建議，例如：能源設計單位、電池使用者、場站管理等位等。

(三)電池管理系統應用數位雙生技術之優勢

電池管理系統應用數位雙生技術的核心思想是可以透過真實系統數據來複製及模擬現有系統行為，複製品的滿意度即為關鍵所在，其評估框架含自動程度、智慧程度、學習速度以及仿真性等。除了降低總成本、提昇效能，主要優勢如下：

1.數據偵測和診斷

使用高級演算法持續準確地監控電池狀態，並得到精密計算後的成果支持。

2.預測生命週期

透過完整生命週期的運行數據，使用機器學習準確預測退化趨勢。

3.故障檢測和預測

透過大數據分析，能在初步故障時，即判斷故障的層級，以提高系統的安全及準確性。

4.評估及提供最佳解

透過評估來自不同廠牌電池管理系統的大數據，來提昇系統設計及營運策略。

(四)機會與挑戰

數據是發展數位雙生模式的精華所在，尤其需要即時或是離線數據俾動態控制及診斷是否故障以利排除問題。充電系統所需之即時數據含：電壓、電流、溫度等，並由感測器即時蒐集相關數據。以上數據先由車載電池管理系統（V-BMS）簡單處理，並傳輸到雲端電池管理系統（C-BMS）透過物聯網（IOT）進行數據重整。在 C-BMS 中會使用過去和即時數據建立電池模式、狀態預估、管理策略等。C-BMS 將控制信息傳回 V-BMS 主控電路，以實現對電池的反饋控制。C-BMS 主要是依據物聯網和大數據，未來 V-BMS 的部分功能將由 C-BMS 取代，兩者合作打造新一代電池管理系統。

公共運輸(如：公車)之里程路線固定、充電地點受限，充電時間因配合路線營運時間而相較不具彈性，除了結束當天運行開始充電外，亦可能必須於營運時間進行多次充電需求，方得以滿足營運路線與班次之用電需求量，且不同路線亦有不同路線之營運時間，其可能導致出現新的用電尖峰，而對電力系統造成衝擊。

過往電動巴士智慧充電會以充滿電(95~100%)為原則，然充滿電需耗費相當長時間，為達到 2050 年淨零碳排使用電動運具相關政策，電動運具數

量將會越來越多，充滿電的設定未來可安排在結束當天所有班次後開啟，班次間充電僅以可滿足剩餘的旅行時間及安全用量為原則，確保接下來的班次能順利完成即可。

如何蒐集數據為重大挑戰之一，尤其本案牽扯到跨部會資料，例如交通、通訊等機關，需要各部會透過開放資料方能打破部門間的數據落差缺口。然這在某些城市來說，不是特別容易做到，例如交通部門做數位城市的交通規劃，管道單位的只做地下管道的規劃，彼此間數據並不流通。此外數位雙生僅為一種輔助角色，真正在做決策的時候，還是有可能面臨「數據的不完備性」。因此數位雙生提供的僅是參考建議，是有可能仍具偏差值，最終決策權還是在決策者，但隨著數位雙生技術發展，數據涵蓋範圍越廣，偏差可能會越來越小。這數據涵蓋範圍的廣度，除了決定於各部門的數據是否透明以及資料蒐集成本的考量。

數位雙生模擬分析可縮短驗證時間、降低試誤成本；運用數位雙生技術多面向模擬分析驗證、預測，不僅能提升產品開發品質，降低研發、試誤成本，也能從使用者體驗出發，優化服務。未來電動運具「個人化」、「客製化」趨勢更明顯，縮短研發設計、驗證的時間、優化生產製造流程、降低成本，都將是影響競爭力的關鍵。電動車供應鏈環節內，除了本身的技術服務優勢外，導入 3D 智慧研發設計、智慧模擬分析、智慧製造、智慧管理等技術，使之能在同一平臺協作，加速數位轉型的佈局，才有機會在電動車供應鏈中扮演重要角色。

肆、結論與建議

透過數位雙生技術應用於電動車智慧充電能源管理，盤點充電資源，並可就電動運具充電排程，可解決原本每一輛運具需自行負擔充電設施之成本，並減少用電負載痛點、提昇充電稼動率，設計多目標(如：成本、效益、性能)與高彈性(如：固定式或移動式)充電最佳化設計。未來公部門可應用後臺資料，研提公共充電場域較高效能之設計規格分析及整合創能、儲能到能源管理的全方位解決方案，優化充電系統配置。

(一)達成能源管理目標

一組電動車上的電池儲存的電量其實足夠提供一戶住家使用一週，目前電動車的使用方式，是由電網供電至電動車電池，此一流程稱作「G2V, Grid to Vehicle」；當電力流向反過來，從車輛輸電至電網時，我們稱之為「V2G, Vehicle to Grid」，由於較常選擇夜間進行慢充，電動車於離峰時段充電，不僅能享有較低的電價，還能達成儲能系統充電的填谷作用，於尖峰時段放電可於白日尖峰時段有較大的電量需求時消峰。藉此，電動車能成為移動式的儲能裝置。基上，若能透過數位雙生技術充分應用於能源管理，電動車的電池能成為電網的調度幫手。

應用數位雙生技術於智慧充電領域可以提升電動車產業的發展，以及降低電動運具普及後對電網造成的負擔及影響，甚至當電網電力不足時，電動運具的儲能可作為備載電力來源的應用。建議透過數位雙生技術開發，有效管理及儲存能源、降低電池的成本、完善基礎建設(如：充電樁等設備)，未來可以改變汽車行業並實現開放電動車平臺的願景，達成淨零碳排目標。

(二)再生能源、儲能、充電基礎設施及數位雙生的整合

太陽能 and 風能等乾淨能源 (Clean Energy) 越來越多地被世界各地的電力公司併入電網，世界各國的政策也都邁向再生能源，不過再生能源產生的電力若未經有效儲存就只能浪費掉，所以再生能源搭配儲能系統已經是全球的共識。結合數位雙生技術即時回饋能源現況，而電動車也可能變身為儲能設備，當電動車沒有在使用時，能將電力適時的回送給電力服務公司，達到電網的優化，舉例來說，當突然發生停電時，家用電動車就能提供電力以因應短暫停電帶來的不便，諸如此類的汽車到電網(V2G, Vehicle to Grid)應用在未來有很大的可能性和發展空間。

未來永續城市的發展，需要有數位雙生技術支援。在應用上，建議需要回歸人們生活具體需要，用新技術解決既有問題，如：交通規劃、環境治理、節能等。數位雙生牽涉到即時數據蒐集，數據來源包含公私領域，甚至是跨

部門間的數據「流通性」與「貫穿性」，都會影響到數位雙生能創造的效益。

參考文獻

1. Towards Cognitive EV Charging Stations Enabled by Digital Twin and Parallel Intelligence, 2021
2. Digital Twins in the Intelligent Transport Systems, 2021
3. Digital twin for battery systems: Cloud battery management system with online state-of-charge and state-of-health estimation, 2020
4. Implementation of Battery Digital Twin: Approach, Functionalities and Benefits, 2021
5. Application of Digital Twin in Smart Battery Management Systems, 2021
6. How Digital Twin Technology is Helping Build a Smart Railway System in Italy, 2020