



數位

2022

DIGITAL TWIN

Vol.1

孿生



本刊物感謝內政部
111 年度國土空間資料目錄與國家底圖分組運作整合服務案
專案協助發行

Content

目錄

- 04 FOREWORD
序
- 06 CHAPTER I
讓虛擬與實體互動，淺談數位學生基於空間資訊的發展與應用
洪榮宏
- 14 CHAPTER II
數位學生是什麼？初探其技術發展框架及應用潛力
黃智遠
- 24 CHAPTER III
確保發展與美景共存，應用數位學生城市於都市設計審議
李明儒、彭子浩、林建安
- 40 CHAPTER IV
數位學生於道路數位基礎建設應用
鄭錦桐、賴子銘、沈哲緯、王禹翔、紀柏全、賴穎萱、李金靖
- 50 CHAPTER V
參考歐美再生能源資料揭露法制促進臺灣數位分身發展
王柏霖
- 58 APPENDIX
活動資訊

序 數位孿生 × 動靜整合



在許多科幻電影的情節裡，我們常看到許多科技應用，像是透過平面螢幕監控呈現潛水員的生理狀態、以全息影像的三維模型來研究物件形狀位置、甚至是顯示某艘艦艇的運作狀態等，這些都屬於數位孿生（digital twin）的範疇。數位孿生可將物理世界物件的動靜態資訊同步至資訊世界，輔助進行管理、分析、模擬等應用。這些物件可橫跨大範圍的尺度，從移動載具、工廠機台、房屋住宅、鄉里都市、直至國土與星球；也可涵蓋不同型態，如固態的機械設備及建物、液態或氣態的流水、降雨、風場等，進而得以支援各種不同領域的應用需求。

由空間數位生活的角度前瞻數位孿生範疇的發展，整合三維地理資訊、物聯網動態感測以及致動資源，為勢在必行的發展方向。而從民國110年起，國家發展委員會「國土空間資訊策略推動小組」及國家科學與技術委員會「空間資訊學門」，就針對數位孿生及國土空間資訊之發展議題，從各個面向積極探討，期望帶動數位孿生之技術研發與政策推動，進一步發揮其應用潛能。

本期《GeoDigital Life 空間數位生活》即以「數位孿生×動靜整合」為主題，邀請專家學者撰文，從廣泛的數位孿生範疇及應用發想開始，進入針對性的數位孿生都市或道路發展案例介紹，並加入相關法制考量的討論。希望從多種面向介紹數位孿生，為相關領域之有志者建構更完整的發想框架，讓未來能逐步出現更多媒介與平台彙整共識。最終得以讓數位孿生成功向下扎根開枝散葉，前進打造臺灣下一世代的智慧生活。

黃智遠
國立中央大學 太空及遙測研究中心 副教授

讓虛擬與實體互動，淺談數位孿生 基於空間資訊的發展與應用

作者 —— 洪榮宏 —— 國立成功大學測量及空間資訊學系 教授
國科會自然處空間資訊學門 召集人
國家災害防救科技中心災防資訊組 召集人

我們在電影中常常看到神奇電腦系統的情節：無論想詢問什麼事情，都可以從中得到答案。這樣情節反應出人類對於生活在所處環境之資訊的想像與渴望，且我們總期待有個這樣無所不知的神秘存在，永遠在我們需要時可以快速提供正確、即時與適切的回應。在如今及未來的發展中，具備智慧之「數位孿生」機制，或許就是上述神奇電腦系統的一個可能。

「數位孿生」讓人隨時透過電腦掌握現實世界！

「數位孿生」代表著一個建構在電腦中的虛擬世界，與現實世界之間存在一個孿生的對應關係，當現實世界的狀況改變時，數位孿生所記錄的狀況也隨之改變。因此我們得以透過數位孿生的發展而掌握現實世界的狀況，並進行各類的分析、模擬與測試。發展機制的內容愈完整與即時，研判分析的能力就愈強，提供決策參考的可能性就愈高。

NGIS2.0計畫將數位孿生列為推動之關鍵策略，希望由成功的跨域資訊整合，提升臺灣空間資訊的應用模式與效益。本文嘗試由資料面、技術面與組織面之觀點切入數位孿生之發展面向；再由相關領域之觀點，分析空間資訊科技在數位孿生課題之應用。

數位孿生的最基本概念，包括實體 (physical) 與虛擬 (virtual) 兩個部分的互動。因為虛擬之部分透過電腦來建構，因此傳統的定義上都包括digital replica或cyber的概念。而兩者之間的互動通常涉及實體狀態的變動必須反應於虛擬的系統中，並可能於虛擬系統中進行各類運作，甚至可回饋帶動實體部分的操作與變動。這樣的觀念事實上可應用於很多領域，例如製造業可透過數位孿生掌握製程及各系統之正確運作，確保產品之品質。如果把現象持續變動之世界視為實體，並運用包括地理資訊系統、網際網路、地球觀測系統、物聯網感測系統、行動通訊等不同種類科技，我們就有可能創造一個支援全球或區域環境發展的數位孿生系統。導入智慧分析、決策與應用之機制後，數位孿生可在永續之課題上開展出許多嶄新的發展面向。

整合不同領域的多元資料，達成數位孿生目標

基於數位孿生之目標，首要任務為因應設定範疇、進行多元資訊之蒐集，這些資訊內容必須基於需求之分析。因專業分工，多元之資料往往來自於不同之領域，資料之面向因此將面對不同領域之異質性 (Heterogeneity)、模式 (Model)、語意 (Semantics) 與品質 (Quality) 等各類問題。在各領域資料建置與流通時，必需納入領域知識 (Domain knowledge) 之考量，明確說明資料之內容與規格，以所有使用者均可瞭解之方式提供，減少無謂的轉換。各單位一方面必須摒除建立資料只為自己所用的保守思維，另一方面也必須提升資料設計與包裝之專業能力，以減少在資料流過程中無謂的資訊遺失。

近年基於空間資訊概念而發展之數位孿生，幾乎均與多維空間資訊劃上等號，既然現實世界之現象為高低起伏及立體物件之狀態，數位孿生的記錄與展示也必須是三維呈現，再加上時間之變化而形成多維的應用環境。近年快速發展的三維建模及數碼城市技術，為多維化空

間資訊應用環境之建立帶來莫大之可能性，我們得以在短時間內完成可提供擬真視覺檢視 (visualization) 的三維城市模型資料。然而視覺檢視並不代表可以直接滿足所有應用需求，在圖徵化 (feature-based)、細緻程度 (Level of Details)、時空資訊管理 (spatio-temporal data management)、跨域資訊整合 (cross-domain data integration)、人機介面互動 (Human computer interaction) 等各類課題上，都還面臨如何由傳統二維模式進化到三維模式之挑戰，亟需因應我國需求而提出有效及完整之設計策略。例如我們已非常習慣應用之底圖概念 (reference maps)，就面臨評估納入多維之資訊內容與規格及如何展示與應用的挑戰。

推動數位孿生的一項重要關鍵因素，是對於現實世界瞬息萬變狀態的掌握，物聯網 (Internet of Things, IoT) 為其中的關鍵技術。透過感測器連網，取得自不同位置的觀測成果、迅速回傳與流通，從而建立對於感興趣現象之持續監測。隨感測器之種類日趨多元及價格持續降低，近年已可以更為低廉之方式獲得更廣範圍及更高頻率的監測

成果。當即時性可以提升，數位孿生應用於緊急應變之可能性即可持續改善；當涵蓋範圍可以更趨完整，整體現象的空間分佈 (Geographic distribution) 特性即可得以彰顯；當時序 (Time series) 觀測值的數目持續增加，變化趨勢之分析即可擴及更具智慧的預測 (Prediction) 與模擬 (Simulation)。

然而當參與單位與系統愈多，系統之異質性卻也可能成為整體推動之障礙，同樣需要發展具體的策略。另一

類值得注意的發展為行動科技 (Mobile technology) 及通訊技術之應用，尤其是人或交通載具之移動軌跡。其成果不但可應用於顯示特定時刻之空間及主題分佈狀況，更可透過時序資料而掌握趨勢之變化，從而分析可能之應變策略。近年包括社群網路之各類文字及多媒體資訊、human as sensors之概念、甚至未來來自駕車攝影機所取得及分析之影像，都可能成為動態資訊之重要來源，也需要更為快速之分析方法，使其融入於數位孿生的發展機制中。



建立標準共識，克服數位孿生技術挑戰

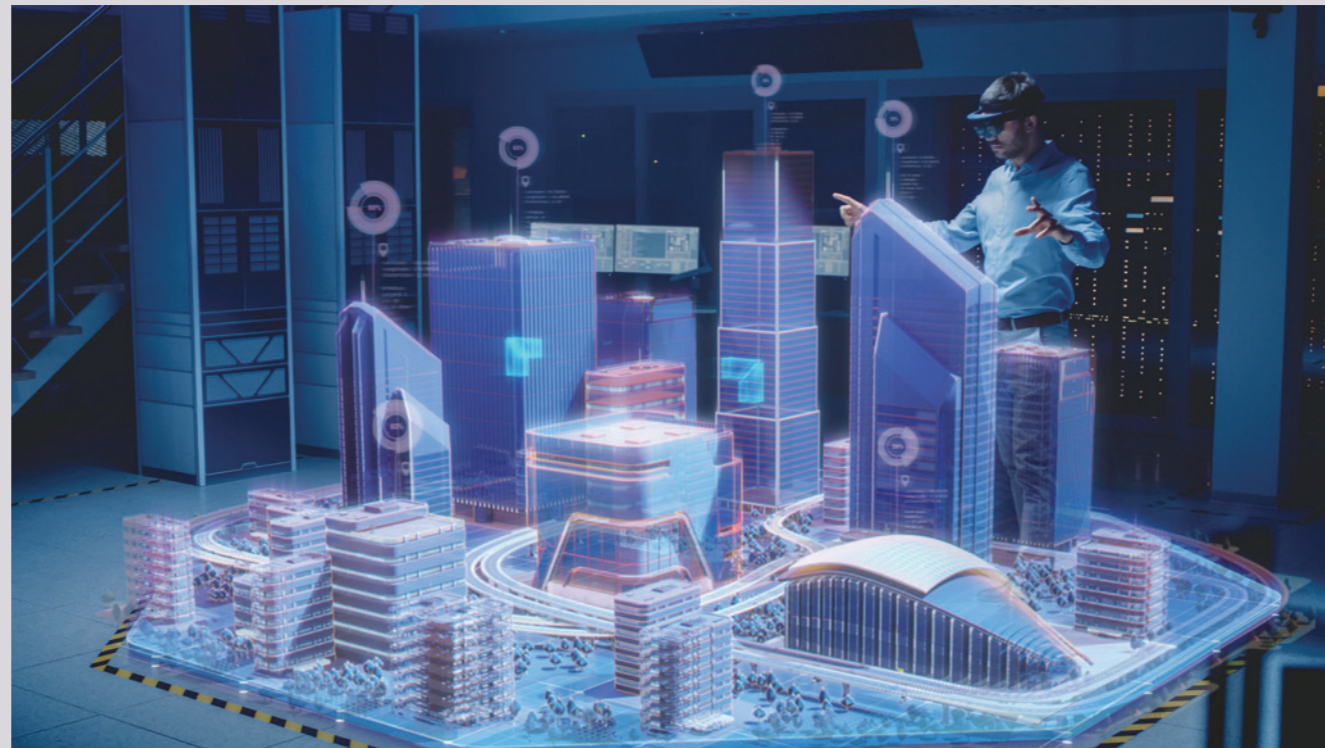
數位孿生的成功運作，來自於多元資料的匯集及有效的整合，需要建立暢通之分享管道及正確之認知模式，因此至少面臨語意、內容設計、資料格式、資料品質、資料更新維護等不同面向之挑戰。要達成跨域動靜態空間資訊互操作性 (Interoperability) 之目標，近年之發展倡議以標準 (Standards) 之方式建立共識，從而建立具有共識之描述及運用架構。標準之概念不惟影響資料之設計與編碼，也連帶影響例如服務與API等流通機制之設計。

國際標準組織 (International Organization for Standardization, ISO) 及開放地理資訊聯盟 (Open Geospatial Consortium, OGC) 系列以「開放」(Open) 為基礎概念而發展之標準為空間資訊不同面向之「標準化」奠定了穩定的基礎，也影響了各國推動空間資訊技術之作法。但共識之建立並非一蹴可及，尤其技術之演進還可能帶來標準內容之更替，因此必須持續關注技術的演進。例如在三維空間資訊領域廣為應用之地理標記語言(CityGML)在這兩年陸續完成概念模式 (Conceptual model) 及編碼 (Encoding) 觀點之新版本標準文件，其內容之改變將牽動包括資料、軟體甚至組織之間互動模式的改變，須由技術觀點建立共識，才能善用標準之優勢及擬定合適的

推動策略。提供動態資訊快速傳遞之物聯網技術同樣必須引入標準化之概念，才可能達到多元感測器觀測資訊快速更新之目標，但當面對多元感測器、應用範疇及產品規格時，標準共識之形成將更為複雜。

大數據、人工智慧與視覺化，數位孿生的關鍵技術

數位孿生機制之特色在於現實與虛擬世界間之互動，許多定義甚至將兩者之間的關係視為關鍵因素之一，意謂數位孿生之發展將必須同時考量多版本及動態圖資更新



之需求。隨時間累積，數位孿生之資料量必將相當可觀，須由大數據 (Big Data) 之觀點來檢視、管理與應用相關資料。大數據具有Variety、Volume、Velocity、Veracity、Value等各類不同之面向，與傳統數據之管理模式即有所不同，若再加上多來源、時間、空間與品質之考量，更增加了彙集資料管理之複雜度。要能支援數位孿生之運作，顯然不是僅擴充及提供儲存資源那麼單純。雲端環境是近年大量採用的儲存環境，具有快速擴充之優勢，但如何發揮大數據之優勢，還需在管理及服務層次進一步推動。

基於累積之大量跨域數據，數位孿生具有綜合分析、探索隱藏趨勢、情境模擬、提供決策輔助及可即時反應之優勢。近年快速發展之人工智慧 (Artificial intelligence) 及機器學習 (Machine learning) 技術為傳統之時空分析模式帶來巨大的衝擊，無論在單一領域資料之深化應用或跨領域資料之關聯分析，基於人工智慧之理論模式可透過大量數據之訓練而發展更有效率之分析與處理流程，也啟發了各類過去無法想像與驗證的創意。例如多元感測資訊之融合 (Fusion) 及 GeoAI之發展可以大幅提昇影像辨識與分類之正確度，而在例如無人機、CCTV或衛星影像資料之運作上，可建構即時監控與反應之機制，使數位孿生達到動態運作與緊急應變之目標。

視覺化應該被視為數位孿生之必要元素，當資料由二維邁向多維時，需要在互動介面上發展具有時空 (Spatio-temporal) 面向之視覺化成果 (Geo-visualization)，以突顯其擬真與直觀之特色。例如多維國家底圖即可能面對如何使其圖資滿足不同單位介接與應用之需求，其視覺化設計可能直接影響或限制其他單位加值與應用之選擇。後端之大數據同樣具有高度之視覺化需求，如何將分析成果以最佳之視覺化技術呈現，甚至納入時間與空間考量，由整合性資訊之觀點輔助多元資訊之檢視及減少決策之風險。除此之外，近年例如AR、

VR等涉及虛實整合應用之視覺技術也
可為數位學生之發展帶來新的創意。

數位學生並不是要在電腦環境建構一個「完全複製」現實世界「所有狀態」的
虛擬世界，每個數位學生系統都有其
設定之範疇、蒐集之資料及分析之機
制，因此其發展必然有應用導向之特
性，必須引入應用領域知識，才能由
客制化與智慧化觀點充分發揮數位學
生架構之優勢。例如我國智慧國土之
推動包括農業建設、經濟建設、都市
及區域發展、文化設施、交通建設、
教育設施、環境資源等面向，不同之
應用固然可基礎於良好之空間資訊基
礎建設 (Spatial Data Infrastructure)
而取得所需之資源，但個別數位學生
之發展必然需要融入應用領域之特
色，強化領域模型之發展，才能達到
數位轉型及數位治理之目標。

各單位協同合作建立共識，達成數 位學生多目標應用

數位學生環境之發展往往需要種類繁
多及數量龐大之多元資料，基於不可
能皆為自產，整體之發展機制必然需
要著重專業分工與分享機制之發展，
意謂由權責單位提供專業考量之資
料，並打造高效率之資源分享平台。

這樣的發展具有提升資料品質及避免
重複投資之優勢，且更容易建立持續
更新之機制。但各單位各有權責，其
思維往往先由單位需求之觀點出發，
缺乏整體宏觀之藍圖，因此資源分享
及正確應用常成為「知易行難」之挑
戰。

支持數位學生之機制必須架構於各單
位之協同合作 (Collaboration) 共識，
再透過組織手段達成資源之互通與應
用。舉例來說，前述有關「標準」之推
動即是必須經過跨域討論與磨合之成
果，因為其設定可能影響資源之建置
者、供應者及廣大使用者，本就是相
當複雜的因素。涉及數位學生機制發
展之單位可能因其特性而有所差異，
且採行不同之作法，常有本位主義之
情形，加上新理論與技術可能造成各
單位推動進度不一及多頭馬車之狀
況，若不能由組織面之觀點排除歧異
及建立共識，實質推動將困難重重。

基於應用領域之數位學生需要大量資
源，且其中可能有大量基礎資料具
有跨域共同需求之特性，最佳之方式
為基於前述之專業分工概念而發展基
礎資料之服務機制，並由專責單位負
責。這樣的基礎服務必然涉及供需
(demand and supply) 關係之確認，

亦即提供之資料應朝可「直接」滿足應
用單位需求之方向規劃，也因此有可能
與業務單位原本基於本身需求所建立之
資源有所不同。透過發展有效之討論、溝
通與協作平台，不但有助於形成共識，更
可因此創建跨域統合資訊之契機，突破單一
主題資料之限制，達成多目標應用之目標。

終極目標：智慧化的數位學生機制

數位學生並不僅僅是一個理想或口號，而是一個
經過縝密規劃、綜合各類所需資訊之而發展之智慧
機制。在空間資訊科技領域，數位學生在營造虛擬
的機制中，更帶有即時、多維、跨域、標準、智慧、
分析、模擬與決策等不同的面向，各單位可在共同的
基礎之上發展自己所需的數位學生機制，並由網際網
路與基礎建設的觀點建立資源分享之模式。

因應新的數位理論與技術引入，也代表運作思維
必須隨之進化，因此數位學生的發展，也進一
步能推動智慧政府與數位轉型的發展。國內
空間資訊科技的研發日新月異，可涵蓋資料
面、技術面與組織面上之各類需求，期許在
數位學生之發展上扮演更為積極之角色。
在空間資訊邁向數位學生的路上，每個單
位都可能是資訊的供應者、學生系統
的發展者與應用的使用者，必須全方位的
評估本身的需求與角色，形成更為緊
密之合作關係，以推動智慧化的數位學
生機制為發展之終極目標。■

數位孿生是什麼？ 初探其技術發展框架及應用潛力

作者 —— 黃智遠 —— 國立中央大學 太空及遙測研究中心 副教授

前言

數位孿生 (digital twin) 近年受到許多領域的重視，亦常稱為數位雙生或數位分身，其描述之概念為各種物理世界物件在資訊世界建有對應的實體 (entity, instance) 提供靜態與動態的屬性資訊。數位孿生不僅幫助使用者在資訊世界掌握各個物件的狀態，亦可進行各領域應用之模擬演練及決策判斷。

從空間數位生活角度出發，針對國土空間尺度，欲完整實現數位孿生願景所需的技術，除了空間資訊領域持續發展各類動靜態資料的獲取、管理及運算技術，亦需要大量跨領域專業知識發展多維模式將散佈各地的感測資訊合適地進行由「點」至「線」、「面」、「體」的時空資料融合。故欲完整實現數位孿生的概念，跨領域學科的整合實為必要。

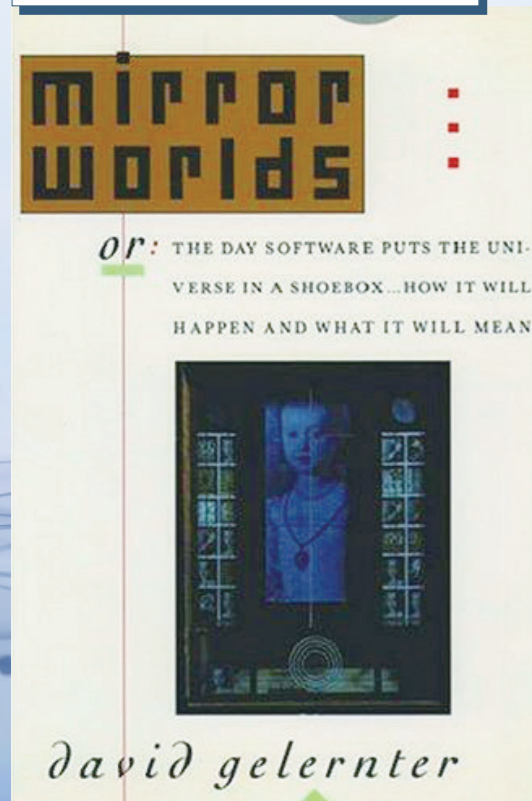
從民國110年起，國家發展委員會籌組跨部會的「國土空間資訊策略推動小組」，就廣邀不同領域之產、官、學、研專家，討論對國土空間資訊與數位孿生的關鍵議題。而國家科學與技術委員會空間資訊學門亦將「多維空間資訊與數位孿生」列為學門的重點研究方向。

為強化對數位孿生背景與發展之科普及專業素養，本文首先簡介數位孿生概念的發展歷程、探討數位孿生與數位地球之異同、介紹數位孿生技術發展框架、並從不同面向初探其應用潛力。

數位學生發展歷程

數位學生的起源常被認為與1991年所提出的「鏡像世界」(mirror world) 相關，鏡像世界以擬真的方式描述真實物理世界，具有精確的地理位置對位以及表象。相反的，「虛擬世界」(virtual world) 則不受限於任何真實世界的外觀或甚至物理規則，通常亦讓使用者透過數位分身在此虛構的世界探索及互動，例如各類多人線上遊戲如魔獸世界、Minecraft、Second Life；電影《一級玩家》(Ready Player One) 等所描繪即為虛擬世界，如圖二。近期隨著NVIDIA的Omniverse與Meta (前身為facebook) 的metaverse的出現，元宇宙之概念受到許多矚目。雖然元宇宙目前的案例皆為在虛擬世界活動如Horizon World，從廣義的定義而言，元宇宙讓使用者穿梭至不同的宇宙，不論是虛擬的或是鏡像的。

圖一、「鏡像世界 (mirror world)」



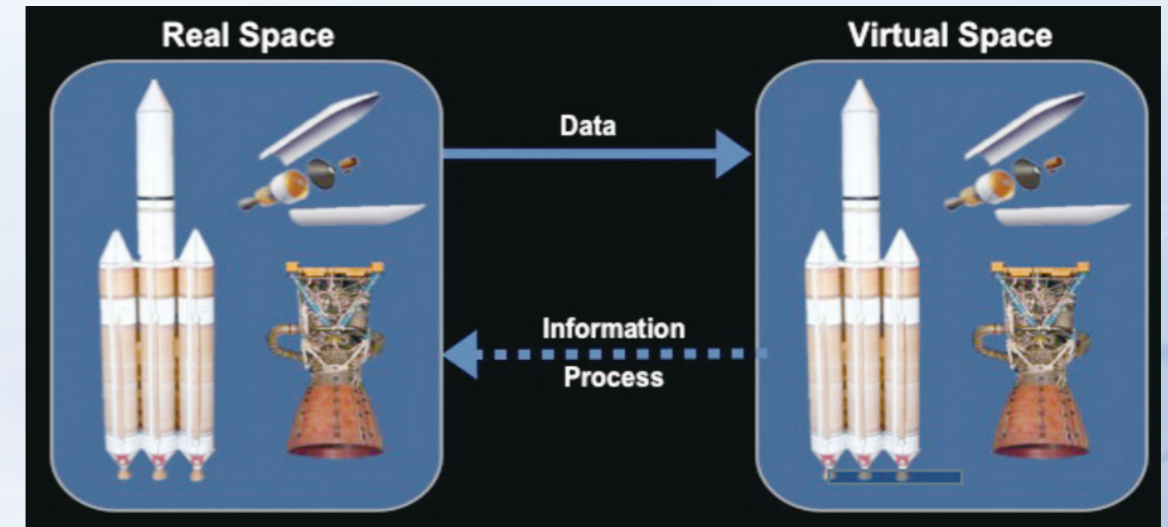
圖二、電影「一級玩家」



圖三、Horizon World

2002年格里維斯 (Dr. Michael Grieves) 將數位學生的概念應用至製造業，將機具與工廠之資訊在鏡像世界內進行彙整與應用。亦因此，數位學生在工業界上有顯著發展，如工業4.0。然而，「數位學生」一詞直至2010年由NASA的維克斯 (John Vickers) 提出，用以描述在資訊世界中忠實表現太空梭機構，以在電腦系統中模擬與分析其動力學行為。

而從2010年起，資訊領域發展快速，大數據 (big data)、物聯網 (Internet of Things, IoT)、虛擬實境 (virtual reality, VR)、人工智慧 (artificial intelligence, AI)、5G網路、以及區塊鏈 (blockchain) 等概念與相關技術皆與數位學生息息相關，如同水到渠成般地搭建起現今數位學生的概念及技術。



圖四、NASA 數位學生應用

數位學生與數位地球之異同

然而，數位學生並非全新的概念，其與美國前副總統高爾 (Al Gore) 於1998年演講所提之「數位地球」(digital earth) 概念相仿。高爾副總統所描述的數位地球為一個對真實地球的三維多尺度數位呈現，可嵌入大量的地理空間資料，提供沉浸式的直覺體驗。隨著多年發展，數位地球之相關技術及工具亦已發展成熟，如Google Earth、Bing Maps、Cesium、NASA WorldWind等。

雖然數位地球與數位學生在提供精確的三維地表地物等相對靜態之資訊具有相同概念，但狹義而言，數位學生可說同等或更加注重時間屬性及動態資訊，不論是地表地物及動態物件的近即時捕捉建模，或是結合物聯網所供應之多元感

測資訊及即時遠端控制能力，皆代表數位學生相比於傳統認知的數位地球更加注重動態資訊整合及應用。

數位學生發展的重要技術框架

與許多資訊科技發展相似，初期發展階段的數位學生在定義、範疇及技術需求仍未完全收斂穩定。接下來我們將從數位國土角度，發想數位學生的技術發展框架與需求，各項技術列點描述如下。

1. 資料獲取

數位學生的基礎為從物理世界進行動態及靜態資料之獲取，再匯入至數位學生之資訊世界。

技術而言，靜態資料之獲取除了傳統測繪

外，亦須考量即時性、多維度、高解析度的模型建置，以涵蓋地表、地下、水下、空中等實體物件之三維坐標產製。而動態資料則主要透過物聯網在地感測器、遙測感測器等裝置提供之感測能力 (sensing capability) 進行供應。此外，在獲取動態資料時，詮釋資料記錄、品質檢核與管控亦需要有完備的考量，以作為後續資料應用的考量依據。

2. 資料管理

當動態及靜態資料匯入至數位學生資訊基礎建設後，這些原始資料除了需要以巨量多維度資料儲存架構進行高效率的倉儲及查詢管理，亦需要在匯入資料時降低不同資料來源的異質性，以資料模型標準化及統一用詞定義的辭典建立明確可註解的知識本體 (ontology)，進而達成相同領域資料內的一致性，提升後續資料處理效率。

3. 資料運算

由於數位學生基礎建設需管理巨量多維度動態靜態資料，若由使用者下載原始資料於本地端進行運算將耗費大量傳輸及運算之成本與時間，而直接在資料端 (亦即數位學生基礎建設) 進行運算，除統一管理高速運算叢集可更加節能，亦可大幅提升整體運算效率。

技術而言，巨量多維度資料之批次處理 (包含統計分析、機器學習、深度學習等) 與即時運算架構、多維度空間運算演算法皆為

需要考量的資訊技術發展方向。此處或可分為需使用者逐步干涉的資料分析程序，或已完整包裝的自動程序。資料分析程序代表使用者需手動操作資料運算，根據各階段成果決定下個階段的運算方式，故需一個可遠端登入操作的平台供使用者調用所需資料、設定運算並執行、及檢視多維運算結果。而自動程序代表已事先決定所需資料及運算方式，由使用者包裝為完整的運算程序，上傳至數位學生基礎建設進行自動化之即時運算，並根據運算結果進行預先設定之安排，如運算成果倉儲、示警通報等。

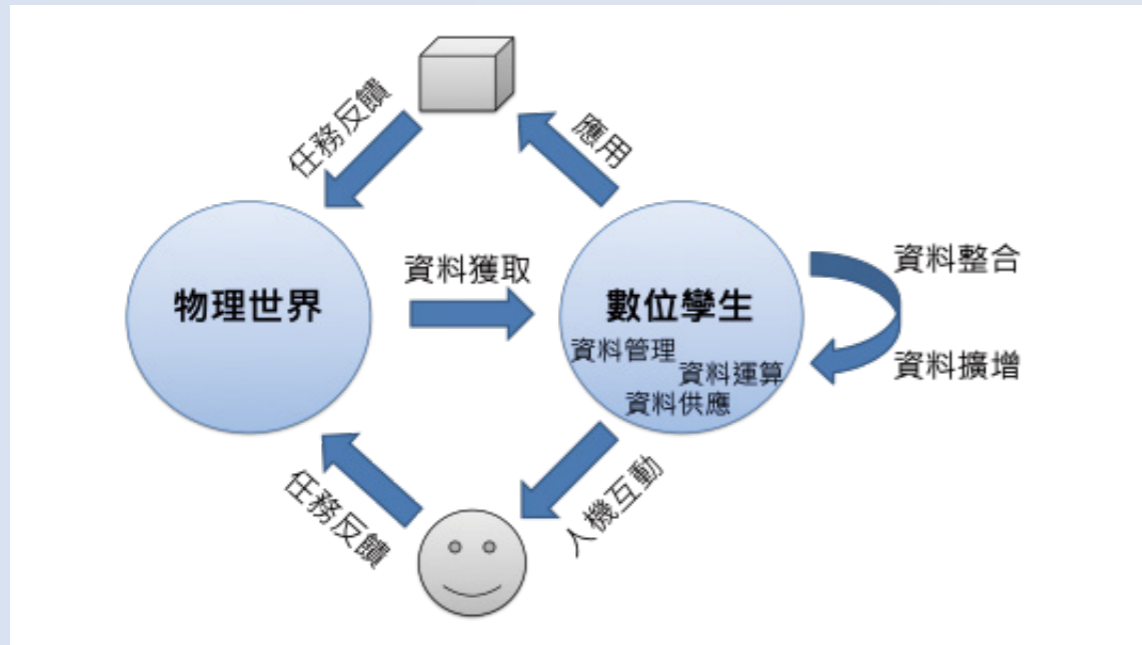
4. 資料鏈結

數位學生利用多元資料描述真實物件隨時變化的各種屬性，需要在管理資料時，建立資料間的屬性內容鏈結 (如主題、空間、時間等)，以提供應用端統一的資料架構獲取個別應用所需的相關資訊。

若未建立資料間之鏈結 (link)，則需從個別資料獨立萃取所需資訊再進行整合應用，隨著應用數量增加，需要花費的重工亦會大量提高，亦可能造成資料錯誤解讀的疑慮，影響甚遠。因此，如何從資料本質定義歸納出各資料間的鏈結並提出統一的鏈結知識本體則為此項的發展重點。

5. 資料擴增

資料擴增為數位學生發展中最重要任務之一，亦可稱為資料融合 (fusion)。



圖五、數位學生技術發展框架

即便低成本感測器及微控制器大幅增加了物聯網裝置數量，真實世界的各項動態屬性仍無法避免以取樣的方式獲取。可高頻觀測的在地感測器，其離散分佈的特性與數量造成較低且不連續的空間取樣。而可廣泛覆蓋連續空間區域的遙測感測器，其重複取樣頻率與空間解析度及覆蓋率亦造成時間與空間取樣的兩難。因此，需要合適地考量離散取樣的感測資料之動態特性進行由「點」至「線」、「面」、「體」的時間與空間資料融合，才可真正達到數位孿生準確且細緻描述真實世界動態的願景。

舉例而言，相比過往常以克利金 (Kriging) 等空間內插方法從離散的感測站資料推估如淹水區域及空氣污染分佈等面狀或體狀資訊，三維地形與建物、排水設施、風速、風向等相關動靜態資訊之影響則常未受到足夠重視。因此，資料擴增程序之完整性及正確性對許多基於擴增資料建立之應用與分析成果可信度有決定性的影響。

當我們對世界脈動的捕捉尚未能直接達到足夠的時間與空間解析度，如何盡量完整地考量相關因素以物理、化學、或統計等科學模型進行資料融合為建立數位孿生的必要發展方向。因此，此技術需要大量的跨領域專業知識，以發展合適的多維跨域模式，如大氣、地科、水文、運輸等。此外，此類技術在不同領域亦有其他名稱，如資料攝取 (data ingest) 、或資料同化 (data assimilation) 。

6. 資料供應

數位孿生基礎建設在彙整、鏈結、融合多元動靜態資料後，需供應原始資料及融合資料予使用者進行應用。此時須考量所使用的資料供應協定，包含可供查詢的詮釋資料模型、以及查詢服務協定，以期達到資料供應的統一及互操作性 (interoperability) 。

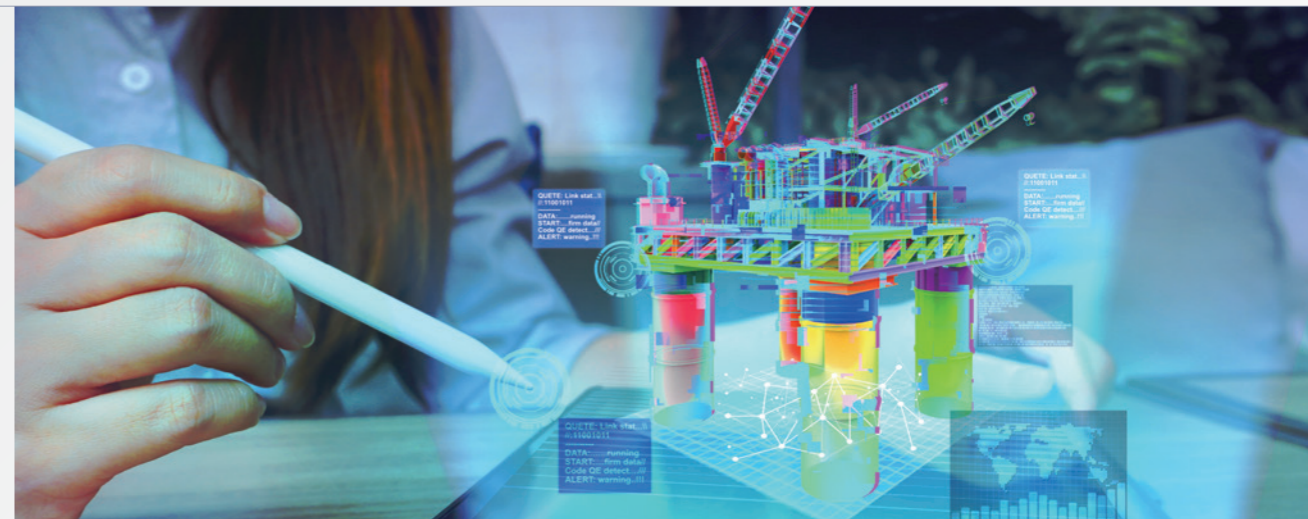
7. 人機互動

相比於傳統二維空間資料之呈現，數位孿生的高解析多維度資訊需要高效率的多維資訊傳輸協定以及渲染技術。

此外，相似於前述所提的虛擬世界及元宇宙皆可供使用者沉浸式地進入及探索，預期數位孿生在完善上述所需技術後，可有扎實的基礎以各類虛實整合互動系統 (如擴增實境、虛擬實境、混合實境等) 提供使用者直覺且沉浸式的體驗與應用。

8. 任務反饋

數位孿生除了單向地從物理世界獲取及擬合資訊，預期亦需能從人機互動或相關應用觸發控制任務，以物聯網致動器之致動能力 (tasking capability) 進行物理世界相關物件之控制。此項的技術需求為異質性的物聯網裝置致動能力標準化與自動化，面對不同的裝置協定，如何以統一的標準協定進行控制為有趣且重要的議題。



數位孿生的各種類型應用潛力

隨著上述技術的發展，數位孿生將逐步實現。當數位孿生完整複製真實世界的物件時，此基礎建設將可實踐各種類型的應用。而其應用類型可從不同面向進行歸類及討論，接下來將從資料面、時間面、生命週期面、執行面、展示面探討，提供初步的應用發想架構。

1. 資料面

數位孿生之應用從資料面可分為三類，(1) 純靜態資料類、(2) 純動態資料類、(3) 動靜態資料整合類。

純靜態資料類代表僅使用空間圖資進行應用，相比於傳統空間資料應用，數位孿生之純靜態資料應用較著重於三維與其即時性。舉例而言，利用三維建物模型進行太陽能板佈設規劃及效益評估，僅需透過三維圖資與太陽方位即可達成。

純動態資料類之應用則與常知的物聯網相

關應用相似，透過物件之動態資料，建立監測與即時控制之整合應用，如工廠機具運作狀態監測或交通燈號的遠端控制等應用。

動靜態資料整合類之應用需結合空間圖資與物聯網感測及致動能力，除了以圖資提供更加完整的動態資料分析，亦可將動態資料分析成果套疊至空間圖資進行應用。舉例而言，透過整合雨量站、水位站提供的動態資訊、三維地形及建物模型、及水利設施等進行更完整的都市淹水區域評估，再將此淹水區域分析成果與街道路網套疊得知禁止通行路段，提供淹水時的導航路線規劃。

整體而言，純靜態資料類與傳統地理資訊系統應用方式相近，純動態資料類與物聯網感測及致動應用相似，而動靜態資料整合類之應用或許才是數位孿生最大的潛力所在。

2. 時間面

數位孿生之應用從時間面可分為三類，(1) 歷史類、(2) 即時類、(3) 預測及模擬類。

歷史類之應用主要基於數位孿生動靜態資訊的歷史數據支援不同應用需求。舉例而言，透過相對靜態的歷史二維地表覆蓋或三維地表及建物模型之时序變化歷程探討變遷成因以了解自然或人為的發展，抑或是以更為動態的歷史氣象或污染源分佈套疊人員移動軌跡以了解不同病症之觸發因子。

即時類之應用則主要基於物聯網之感測及致動能力，直接針對感測數據進行簡單或複雜的運算處理與決策判斷，再發布通報或控制對應機構設備以達即時反應之應用需求。舉例而言，基於地震速報及震動感測器數據分析成果即時暫停精密工廠設備之運作，避免儀器損壞或產品品質疑慮。

預測及模擬類應用則主要基於歷史數據所發展之科學模型，設定不同變因探討其對自然環境、生態、人類活動等領域之影響。舉例而言，於數位孿生模擬新建大樓之位置及外觀，分析其對整體美觀、風場、光照等影響，抑或模擬降雨分佈及強度以分析其對坡地滑動之影響。

3. 生命週期面

數位孿生應用從生命週期面或可分為四個階段，(1) 設計、(2) 建造、(3) 運作、(4) 撤除。

數位孿生對公共建設之生命週期各階段皆有不同應用角色。以立體停車場為例，首先可透過數位孿生動靜態資訊了解現有停

車需求瓶頸，於潛在立體停車場站址考量不同外觀、交通動線、對周遭環境影響等因素進行選址及設計。在建造階段，可先於數位孿生模擬施工造成之噪音、空氣等污染，抑或分析潛在的勞工安全項目，以施加對應的區隔及保護措施。此外，亦可設置對應動靜態資訊獲取設備，如攝影機、噪音及空汙感測器等，實際確認及降低建造期間之影響。於運作期間，數位孿生可提供即時停車位引導資訊，抑或是提供更便利的取車流程，縮短取車及待位時間並緩解交通狀況，優化停車場之運作。而在撤除階段，除相似於建造階段應模擬及實際監測其對周遭環境之影響，對停車需求的分析或階段性安排亦可透過數位孿生相關資訊進行應用支援。除此停車場案例外，亦可發想數位孿生在不同場域或情境的各生命週期階段應用。

4. 執行面

從執行面討論數位孿生應用可分為兩類，(1) 優化現有程序、(2) 發展全新程序。

隨著將各式動靜態資訊彙整至統一的數位基礎建設，可針對現有的程序進行分析並探討其優化方式。舉例而言，透過監測工廠人員及自動化機具的運作軌跡，可分析所耗費的移動時間成本，進而設計更有效率的設備擺設及流程以提升生產力。此外，數位孿生亦可促進全新程序的應用發展。舉例而言，整合三維建物及風速、風向、空氣品質感測資訊以風場模型追蹤空氣污染來源，抑或是動態分析交通狀況判斷合適路徑規劃並即時遠端控制燈號調撥道路給救護車通行。

5. 展示面

關於數位孿生的展示面，可分為三類討論，(1) 背景執行、(2) 面板式、(3) 沉浸式人機介面。

數位孿生應用不一定需要有多維度資料的展示介面，如同前述的多項應用，數位孿生可整合動靜態資料並提供分析成果或決策判斷，進而在背景支援不同應用。而數

位孿生亦可基於面板式介面展示二維或三維動靜態資訊，此類則相似於地理資訊系統及物聯網系統常採用的呈現方式。此外，基於數位孿生與數位地球的相似度，後者所描述的沉浸式體驗亦是數位孿生的一種吸引人的呈現方式。舉例而言，使用者可透過近年發展快速的虛擬實境、混合實境等人機互動介面系統，以直覺且沉浸式的方式遨遊探索數位孿生的多時序鏡像世界。

結語

本文初步探討數位孿生概念及發展、提出數位孿生技術發展框架、以及從不同面向討論數位孿生之應用潛力。透過具互操作性的資通訊技術，將多維度空間資訊圖資、多元物聯網感測與致動能力整合於統一環境，配合各式領域模型進行資料擴增，使數位孿生在不同情境可有不同面向的應用發想。本文主要介紹數位孿生的技術及應用發想層面，然而動靜態資料供應及相關政策擬定皆需要經過充分討論及規劃。希冀未來在有關單位的積極推動下，能結合產官學研各界能量逐步實踐數位孿生之願景。■

確保發展與美景共存， 應用數位孿生城市於都市設計審議

作者 —— 李明儒 —— 台灣世曦工程顧問 地理空間資訊部 計畫副理
 彭子浩 —— 花蓮縣政府建設處 都市計畫科 技士
 林建安 —— 花蓮縣政府建設處 都市計畫科 技士

「智慧國土整體發展計畫」是推動智慧城市的發展策略，期望透過推動智慧國土達到增進城鄉生活便捷、維護國土保育保安，提升政府治理效能及促進產業整合發展。城市規劃、交通服務、觀光旅遊、土地資源管理、工程設計施工、人民財產權益、政府稅收乃至於防災等各項應用，均需結合高精度空間資訊及網路服務，因此花蓮的各項基礎業務數位化與勢在必行。

花蓮縣政府積極響應中央政府刻正推動之數位孿生政策，收納多元社經環境空間資訊，活用多種三維模型（建物分棟分層模型、影像模型、建築設計模型），搭配2D/3D資訊圖台即時連動模式，建構花蓮數位孿生城市。

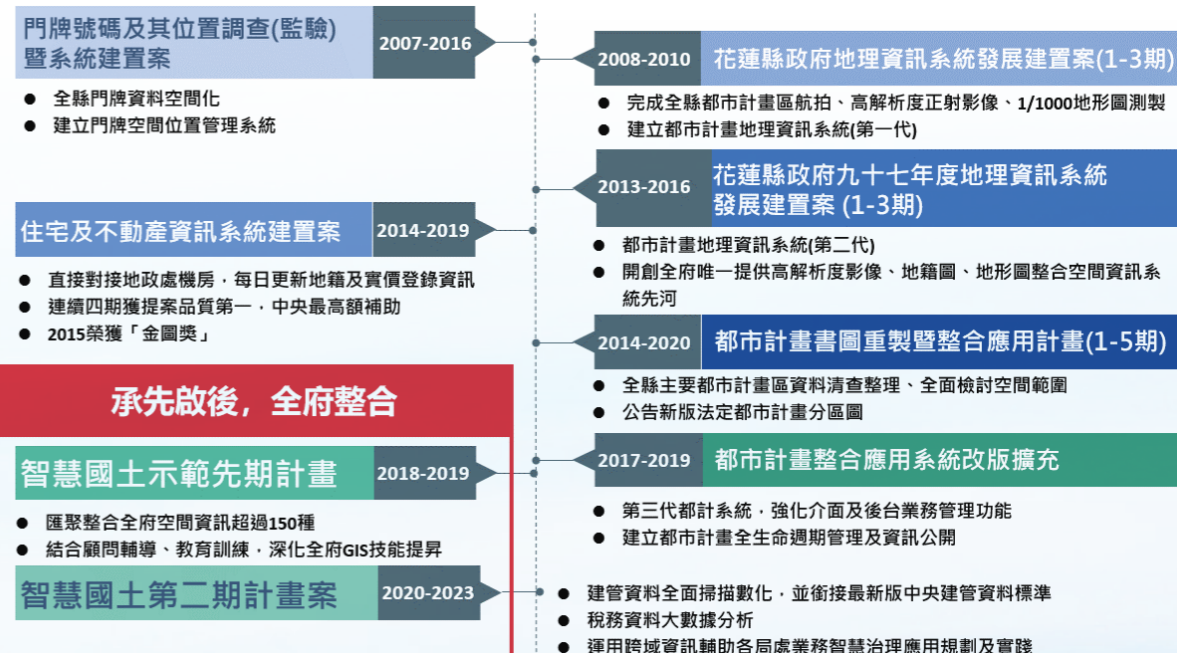
逐步完備地理空間資訊，建構花蓮數位孿生城市

花蓮縣政府自2007年開始，陸續建立「都市計畫地理資訊系統」、「住宅及不動產地理資訊系統」、「地理資訊倉儲系統」，分別供應高解析度地形圖、正射影像、都市計畫圖、地籍圖、不動產實價登錄及其他空間圖資。

隨各項空間資訊建置日趨規律及完備，花蓮縣政府考量更進一步聚焦地理空間資訊多面向整合深化應用，遂於2018年將已開發之圖資倉儲系統，擴充為「花蓮縣地理資訊整合應用平台」，作為整個花蓮地理資訊圖資及應用中樞；並以分年分期方式，由2D空間資訊跨域整合，同步推動建構花蓮3D數位孿生空間資訊平台。



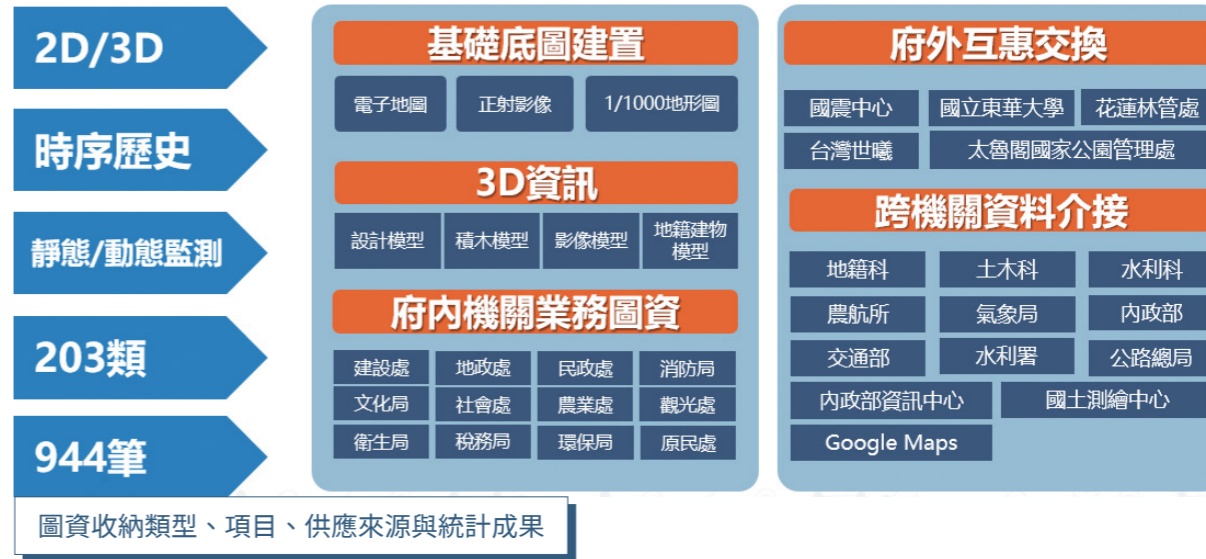
花蓮縣政府空間資訊推動發展沿革與特色



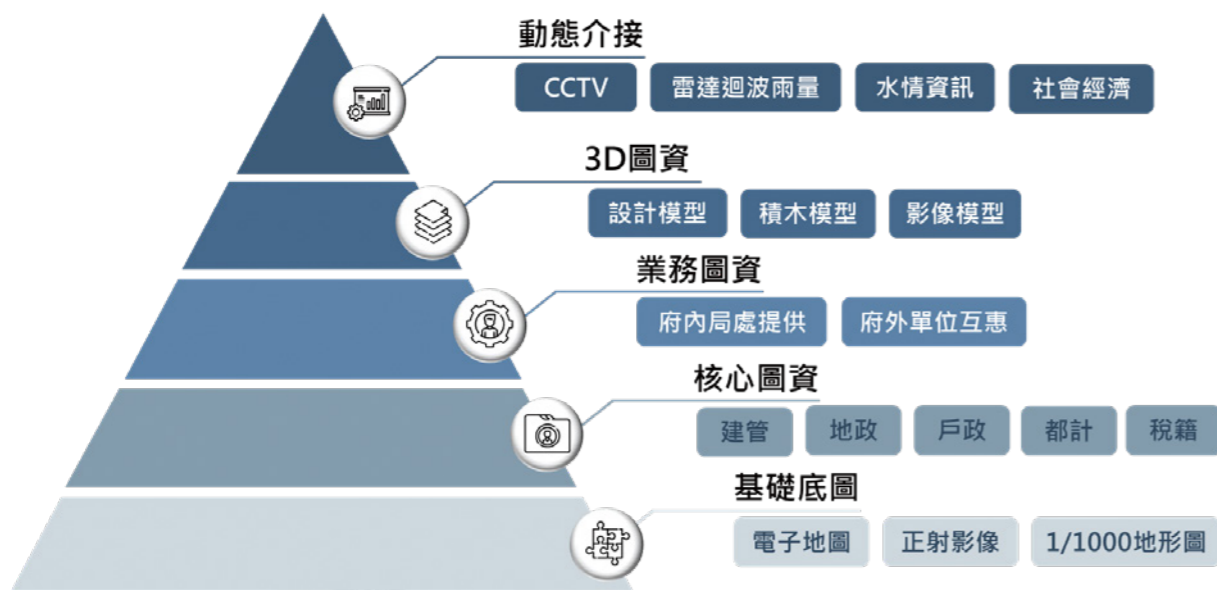


數位孿生城市主要以3D模型作為承載空間資訊之基礎載體，但載體內容仍根基於2D空間資訊收集的廣度與深度。因此，花蓮智慧國土推動方向，首重各類型空間資訊收集、轉換與整合。此部分空間圖資收集特點為打破局處藩籬、清除資料壁壘，以全花蓮縣空間範疇進行整體推動。依據圖資性質，可依金字塔架構分為五大類型，分別為基礎底圖、核心業務圖資、局處業務圖資、3D圖資及監測數據動態介接圖資。

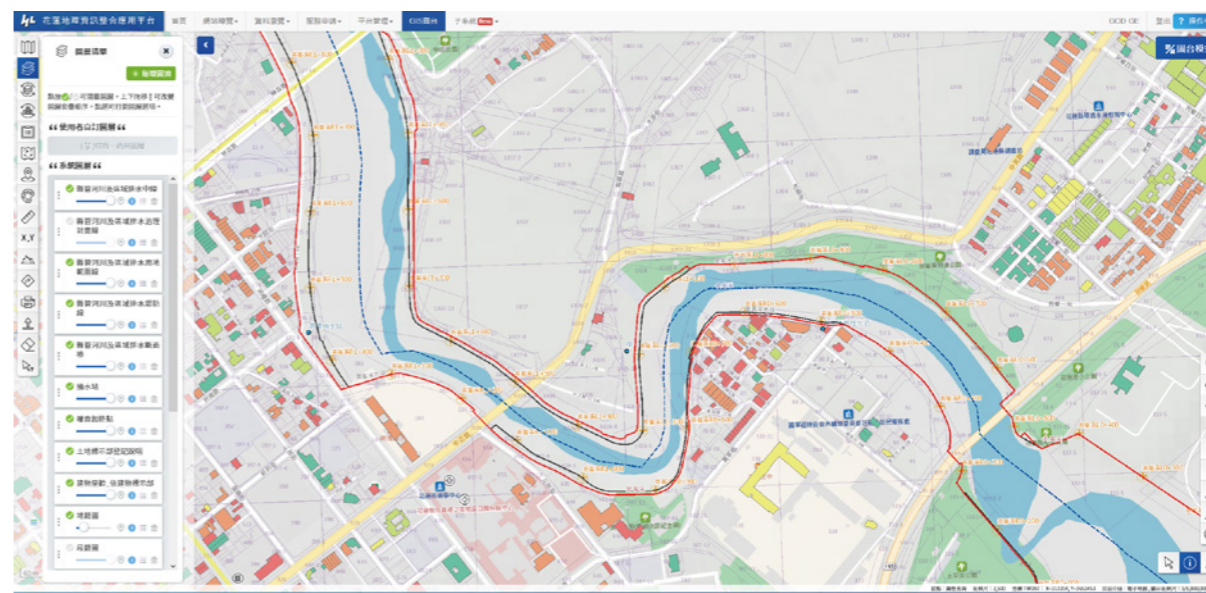
截至2022年8月，「花蓮縣地理資訊整合應用平台」共計整合203類944筆空間圖資，包含靜態圖資180類、動態監測/介接圖資14類、3D模型9類，奠定空間資訊整合廣度與深度。



※ 截至 2022 年 8 月



跨域空間資訊整體收集建置架構



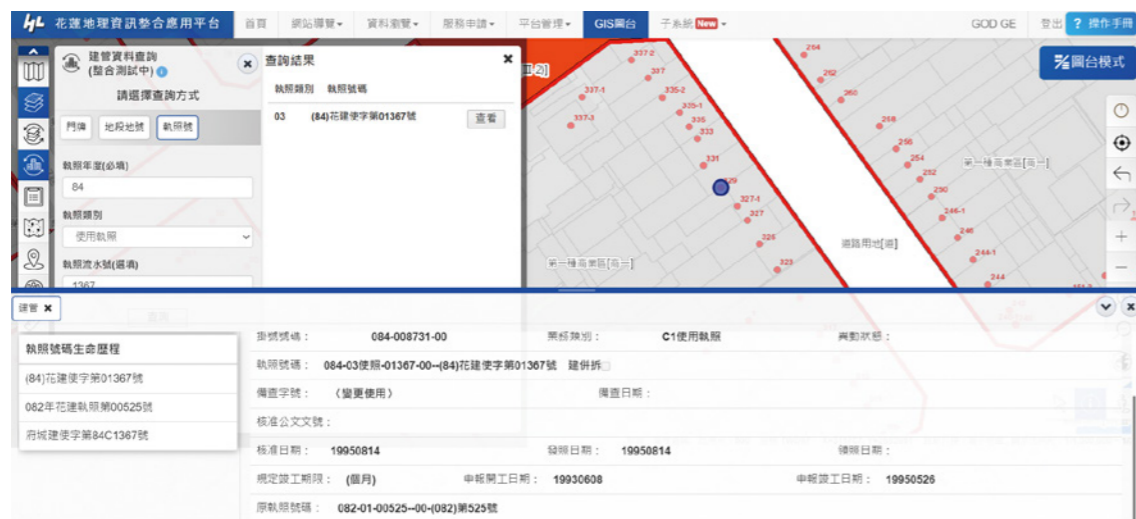
花蓮縣地理資訊整合應用平台跨域空間資訊整合系統畫面

花蓮縣政府對於空間資訊整合之重視，體現於關鍵基礎業務圖資取得頻率及品質。在台灣世曦工程顧問協助下，目前的地政資料介接及圖資為全自動轉換及更新，每日更新地籍圖、土地及建物登記資訊、公私有權屬、分割合併、實價登錄資料，以及萃取登載於地政資訊內之重要資訊，例如原住民保留地、農舍登記等等，圖台地政圖資更新頻率

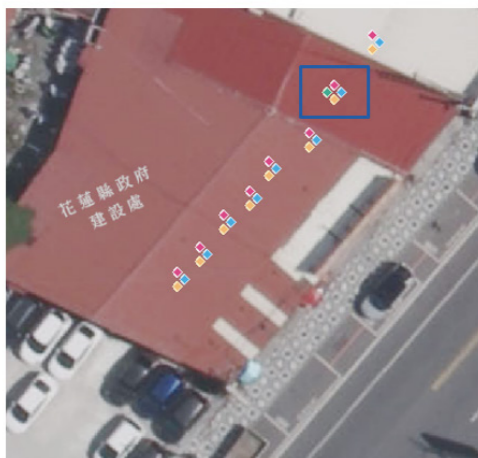
全國最高。另正進行建管資料全面數位化及空間化建置，將建築執照以符合營建署之新版建管資料庫規範，加以掃描、編碼、屬性建置及位置空間化，實現單一圖台整合所有建物相關業務登記資訊，包含戶政門牌、地政建物登記、建管執照圖說以及稅籍紀錄，完整建構多維度三維城市模型中，必要的建物充分資訊。

擴大花蓮 3D 數位學生城市，各種測量與建模技術應用

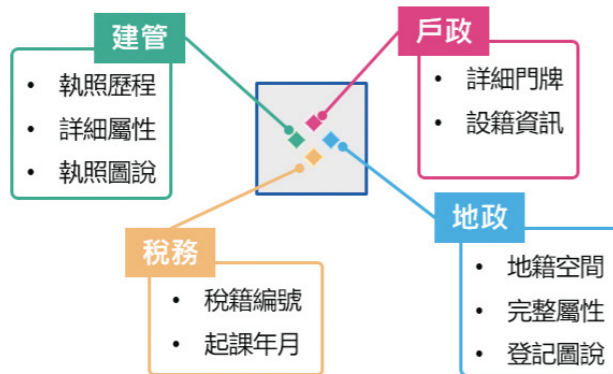
透過交互運用多種先進測量與建模技術，包含大面積3D影像模型、LOD1建物分棟分層量體模型、建物設計模型及三維地籍產權模型，花蓮縣已逐步建構大範圍花蓮數位學生城市。使用者可於花蓮縣地理資訊整合應用平台上，自由瀏覽花蓮城市景觀風貌、建物分布、細部建物外觀量體。



花蓮縣建管資訊建置整合查詢結果



花蓮縣建物業務資訊跨域空間整合成果



都計區 三維影像模型

- 全都市計畫區

LOD1分棟分層 積木模型

- 全都市計畫區

建物 設計模型

- 審議規範繳交
- 重大工程提供

三維 地籍細緻模型

- 代表性建物實作
- 依地政建號，呈現室內分戶隔間

3D 花蓮數位學生城市多重建模技術類型



3D 花蓮數位學生城市平台查詢操作畫面

建構數位孿生城市所運用之各項建模技術簡述如下：

1. 3D 影像模型，具象化空間場域感受

運用有人機及無人機，對各都市計畫區空拍以獲取各個方向之原始影像，作為後續 3D 模型之建置及材質影像敷貼使用。將傾斜攝影拍攝之像片透過自動化的特徵匹配及光束法平差，解算外方位參數，進一步透過影像密匹配產製高密度之三維點雲，建構不規則三角網並貼附紋理影像做為 3D 模型之材質，即得 3D 之地形地物模型。搭配現場布設量測之地面控制點，可讓模型帶有真實空間位置資訊，藉由 3D 影像模型，建立環境立體影像模型，有助於使用者具象化三維空間場域感受。

不規則三角網敷貼紋理影像



3D 影像模型成果 (花蓮都市計畫區)

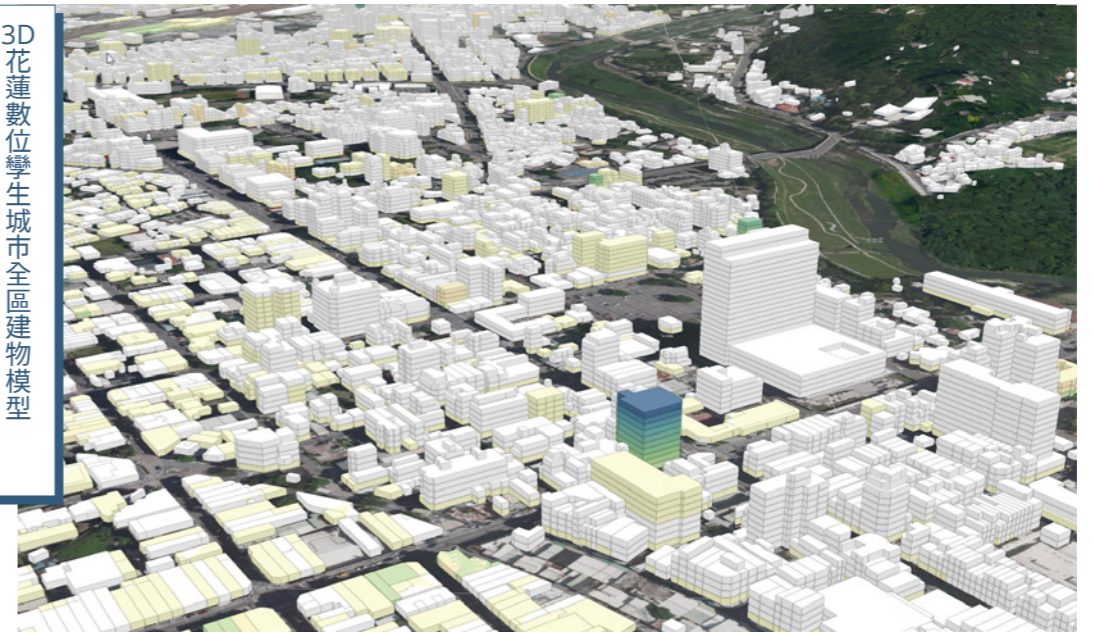


2. LOD1 建物分棟分層向量模型建置，提供真實的高度資訊

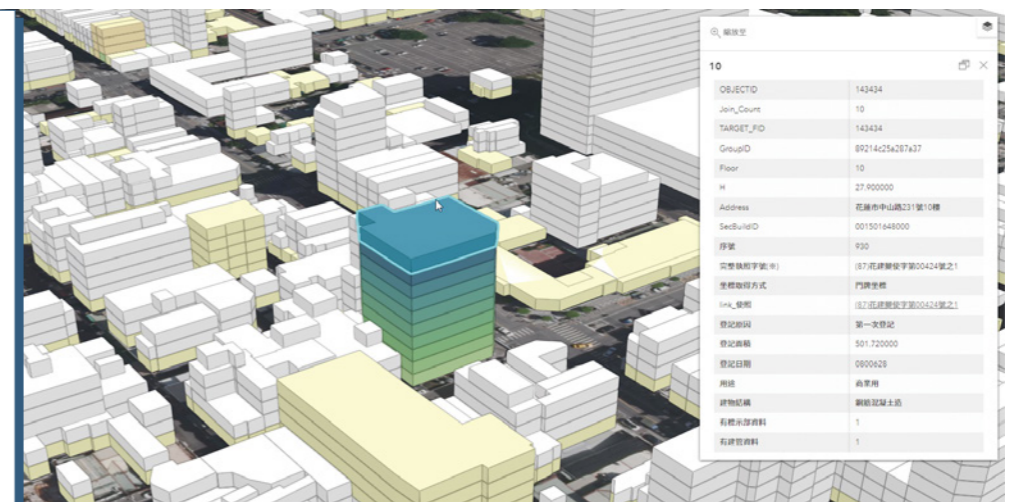
透過每年度搭配 1/1,000 地形圖最新修補測成果，同步建置 LOD1 等級建物量體模型。產製利用傳統二維地形圖搭配真實高度屬性，自動化生成 LOD 1 等級三維建物模型。地形圖修測皆加測真實建物樓高，而非透過樓層數推算高度，使 LOD 建物量體模型能呈現更為真實之建物高度資訊。

基本 LOD 建物模型建立後，再將模型持續精細程序，做法為將建物依據正射影像、門牌、建照資訊、地籍圖等參考圖資，進行分棟、分樓層處理。完成後因具備分棟及分層狀態，便可進一步與戶政門牌、地政建物標示部分層資訊進行空間連接 (Spatial Join) 後，建立的加值 LOD1 模型，帶有以分棟分層建物為基礎的關鍵建物資訊，大大提升了模型用於展示、應用分析能力。

3D 花蓮數位孿生城市全區建物模型



整合
LOD1 建物分棟分層加值模型跨域資訊



3.三維地籍模型建置作業，定位室內空間應用

運用三維建物模型產製技術，以地政建物標示部、建物登記測量成果圖說、建築設計圖說出發，藉由樓層平面圖資料以地政建號(戶)為單元，透過關聯同一棟之各建物(地政建號)單元，建立以地政建號為單元之三維模型。成果讓各戶可直接透過建號連結取得建物登記資訊，包含門牌、登記面積、主要用途等資訊，同時可顯示建物內部原始建物隔間狀態，對於室內空間定位有極佳應用效益。

三維地籍細緻模型外觀成果



三維地籍細緻模型內部隔間展示成果



數位孿生場景應用：都市設計審議作業

為創造優良都市環境品質，建立優良人行、車行及開放空間，提升建物量體造型色彩風格整體性，花蓮縣於部分都市計畫案件及容積移轉案件，明訂須經都市設計審議程序同意後，方得實施。

在花蓮縣都市設計審議原則規範項目中，明訂都市設計審議應載明事項中，諸多皆與建物本體與周遭實際空間環境密切相關，例如人行與開放空間配置、交通運輸系統配置、建物量體設計與景觀協調等項目。都市設計審議的這些要求，非常適合應用數位孿生場景模擬，以切實了解對於景觀協調等之影響。

- (三) 人行空間及開放空間配置：
 - 1.以整體街廓考量人行空間之留設範圍。
 - 2.公共性開放空間配置及無障礙設施設置狀況。
 - 3.綠美化及植栽設計概述。
- (四) 交通運輸系統配置：
 - 1.建築物量體對周邊交通系統之影響評估。
 - 2.結合周邊大眾運輸系統動線設計。
 - 3.停車空間(含汽車、機車及自行車)之需求量評估及配置。
 - 4.車道之坡道及出入口設計，宜注意迴車空間及來往車輛視線。
 - 5.消防救災空間及動線規劃。
- (五) 建築量體設計與景觀協調：
 - 1.建築物之風格、立面、外牆材質及色彩設計與基地周邊環境之概述。
 - 2.建築物高度與鄰近建築物之天際線和諧關係。
 - 3.位於本縣主要幹道、水岸及地標周邊區位設計概述。

花蓮縣都市設計審議原則內規定(節錄)

都市設計審議程序雖然與實際場域空間真實環境息息相關，然現況審查多仰賴開發單位提供之紙本送審圖說。然而，以紙本審閱進行建物都市設計審議之缺點包含：



都市設計審議紙本送審作業狀況示意

1. 週邊環境之現況真實性不盡相符

開發單位送審之圖說，多半強調建物本體，周遭環境之現況資訊多以示意方式呈現。而且建物造形多未依照真實情況繪製、建物量體也多半以灰色矩型柱狀物呈現概念，甚至鄰接道路寬度等尺寸亦未必與真實環境吻合。因此對於空間開放性、景觀和諧性等審議項目，實難從紙本資料所傳達之空間概念來確認是否類同真實環境場域，對於開放性與和諧性之審議變得更加虛無籠統及易於悖離真實。藉由以下舉例之建物送審圖面及對照現況真實環境 3D 影像建模，可以更具體觀察到周遭建物量體、整體街廓建物色系與送審示意圖顯不相同之處。

2. 無法彈性從各視角檢視建築物

實務上送審之紙圖報告，開發單位提供之模擬視覺畫面，皆以特定視角、距離及尺度呈現，實不易完整掌握「送審標的」與周遭環境之空間對比關係（全視域、多視野、多距離）。致在檢視審議作業上，實易因受限於受送審書件所呈現之主觀、單一視覺畫面，難以獲取完整、客觀之多尺度多視角切入之環境視覺資訊，進而對「送審標的」與周遭環境之空間關聯性，產生認知誤導及偏差。

建築量體設計：

- 本案建築物樓層11層，絕對高度為40.7M，主棟建築物正面臨20米計畫道路，側面面臨15米計畫道路，路幅寬大得並退縮建築以減輕建築物的壓迫感。後棟(A、B棟)建築物，雖面臨10米計畫道路，但建築物本身退縮騎樓地建築，亦可減低巷道及鄰近建築物的壓迫感。



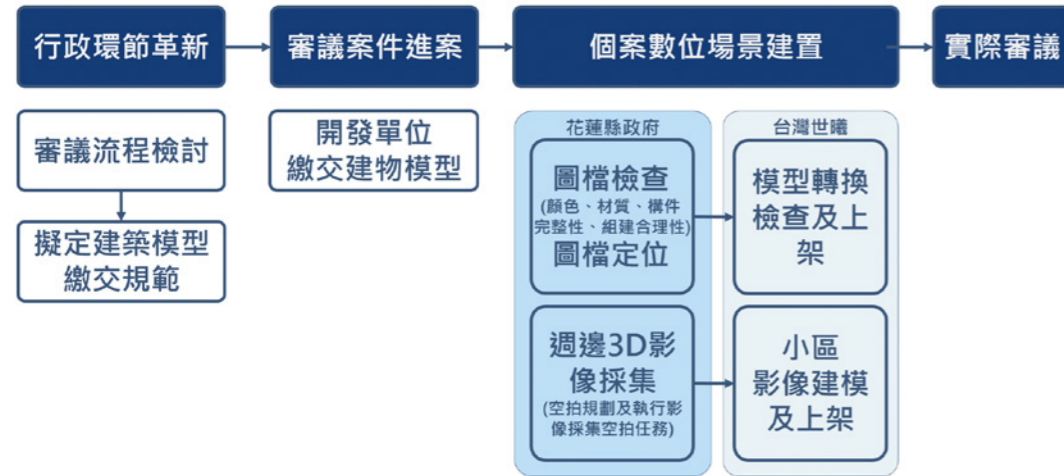
花蓮市某都市設計審議案例提送建物與周遭景觀圖說



花蓮市某都市設計審議案例現況 3D 影像建模成果

建置數位場景，新型態之審議作業

綜上所述透過審查開發單位紙本圖說及平面簡報，進行都市設計審議作業的缺點，花蓮縣政府建立都市設計審議創新作業架構，藉由行政環節革新、建物模型與周遭場景模型整合於花蓮數位孿生平台，提供新型態之審議輔助作業方式，革新之作業架構流程分項說明如下：



花蓮縣政府都市設計審議運用數位孿平台作業架構

1. 行政環節革新：

規劃都市設計審議作業，需運用花蓮數位孿生平台進行，因此收集建築師設計模型檔案，並由執行單位建立模型繳交規範，後續所有都市設計案件，皆須由開發單位繳交符合格式之建物設計模型。為強化推動，期間並由執行單位協助至花蓮縣建築師公會說明模型格式及注意事項。

三維建模軟體 - SketchUp

建議事項

- 繳交格式：SKP(2017以下) & KMZ
- 使用TWD97二度分帶坐標系統並設定基準點
- 尺寸單位使用公尺
- 建築物量體與周圍環境分開輸出
- 盡量不要使用預設材質
- 盡量正面朝外
- 盡量使用英文命名(包含材質)



花蓮縣都市設計審議建築模型繳交規範 (節錄)

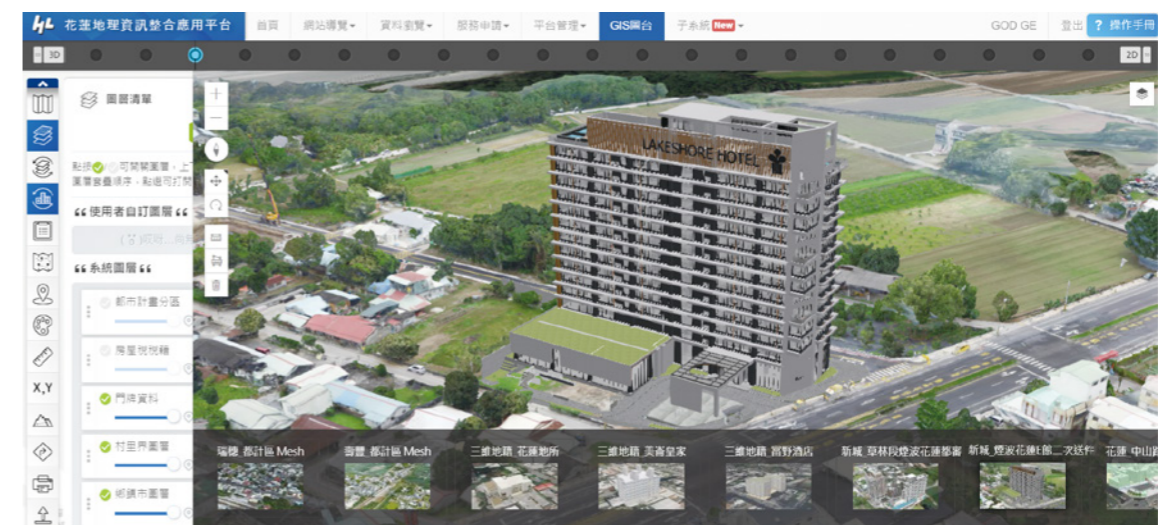


至建築師公會進行規範說明

2. 個案數位場景建置：

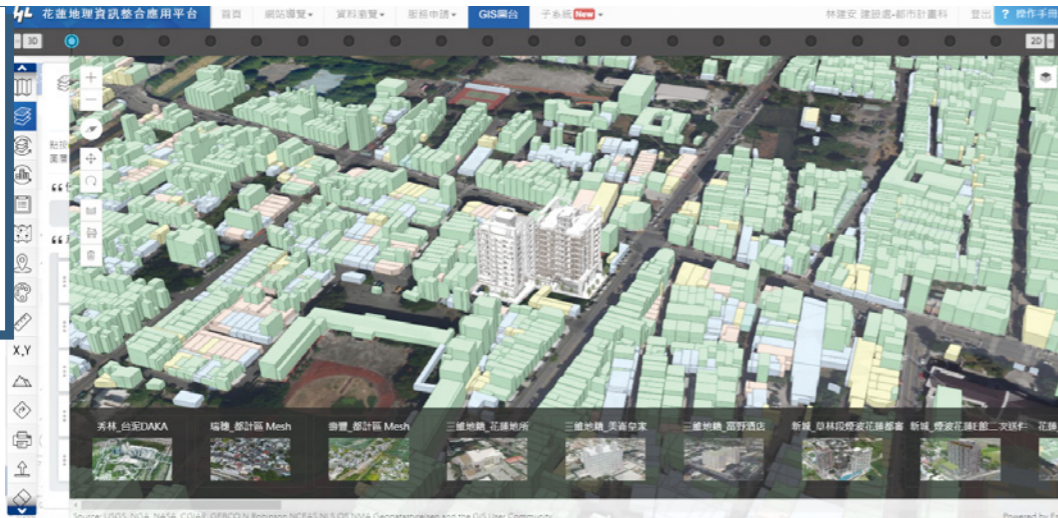
於都市設計審議案件成案後，花蓮縣政府承辦人員先行檢視送審模型是否符合繳交規範，並依紙圖內容檢校 3D 模型量體及其內容 (顏色、材質、構件完整性、組建合理性)，確認無問題後，交由執行單位進行模型轉換及整合應用平台上架。於此同時，依據案件位置排定周遭影像模型建置，由縣府自行規劃空拍範圍及航線，並執行傾斜攝影拍攝任務後，交由執行單位協助產製區域 3D 影像模型並上架於地理資訊整合應用平台，完成個案審議之模型場景整合於花蓮數位孿生平台作業。

藉由在審議過程中結合花蓮數位孿生城市，大幅提升了都市設計審議之品質。可針對建物本體外觀設計不合理之處進行討論確認，而搭配週邊環境的真實影像建模成果，讓未來式的「審議標地」與其周遭現況，能「視覺化」彈性模擬呈現多尺度、多視角的空間對比關係。對於評判景觀和諧度之視覺感知而言，確已有務實正面之實質助益。藉由整合應用平台之多維度量測功能，可於平台上直接量測各項距離與面積，也有助於檢討開放空間尺度關係。



設計標的外觀造型與景觀和諧度作業畫面

設計標的與周遭發展量體



都市設計審議，開放空間與天際線



整體區位與周遭環境關係



縣府運用系統以三維視野，宏觀呈現大尺度空間發展現貌及模擬未來發展情境，除輔助都市意象（或街區風貌）等城鄉發展政策之形塑討論外，亦創新公務推動機制。針對實施「都市設計」之管制區域，要求建築師皆需繳交符合規範之建物設計模型，再由縣府進行模型轉換對位及局部街區模

型產製等作業。之後整合置入於『花蓮縣地理資訊整合應用平台』，在平台模擬未來發展樣貌所建構的「視覺化討論情境」下，已讓各界委員、建築師、開發業者之各方意見能有效溝通及確實聚焦，並得以務實檢視「送審標的（量體規模、造型構件、立面材質）」與周遭環境之和諧相容性

（如建物退縮尺度、開放空間配置合理性、動線設計與街道傢俱佈設意旨、綠美化植栽分布等），除顯著提升合議制審議委員會之運作效率外，亦輔助「委員會」充分落實專業審議與技術把關的職能權責。

運用數位孿生成果，讓花蓮美景永續共存

縣府自導入花蓮數位孿生城市輔助審議後至2022年8月為止，已累計審議6案，建物棟數8棟，容積允許增量1,2000平方公尺，基地面積占地23.6公頃。積極運用數位孿生成果，有效提升花蓮縣都市設計委員會之審議效率及決議明確性。未來將持續朝著活絡觀光產業同時兼顧環境友善和諧的雙贏目標邁進，確保建設觀光與城市發展，能與花蓮美景永續共存。■



都市設計審議 3D 多維度檢視實際運作畫面

數位孿生於道路數位基礎建設應用

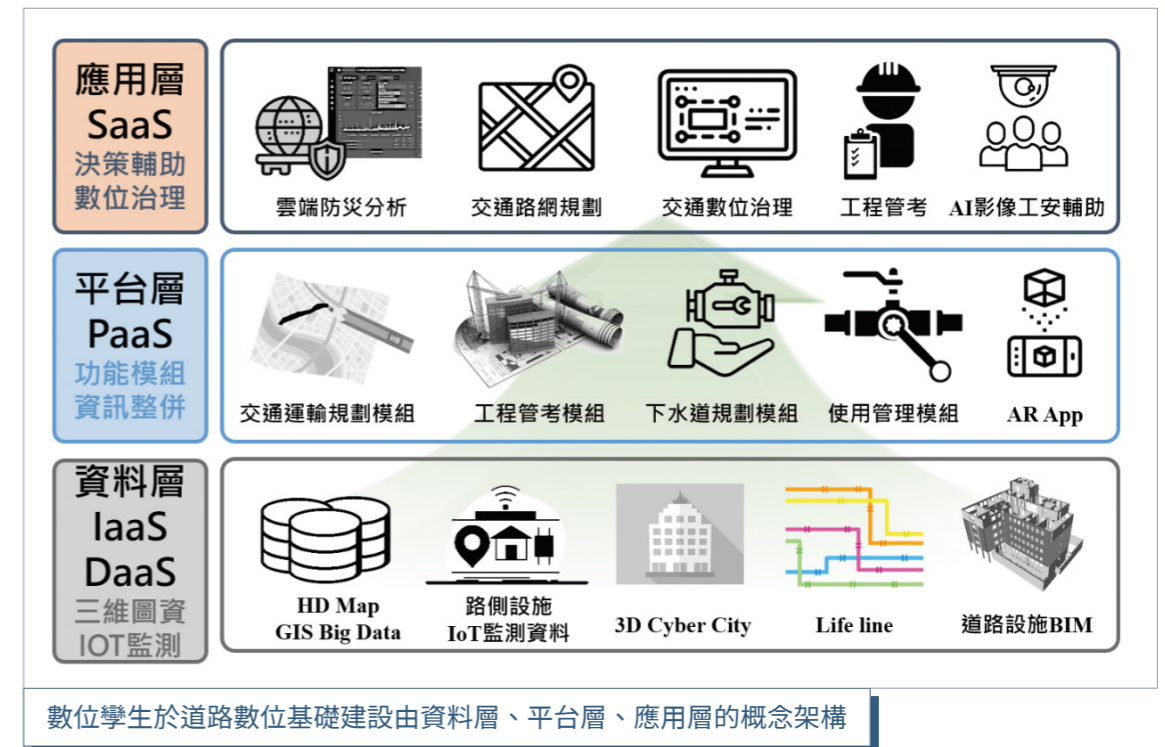
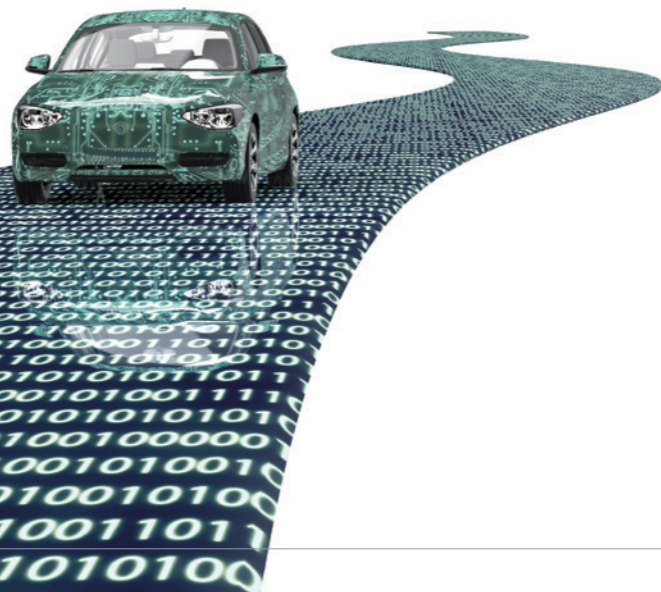
作者 —— 鄭錦桐、賴子銘、沈哲緯、王禹翔、紀柏全、賴穎萱 —— 興創知能股份有限公司
李金靖 —— 桃園市水務局 李副局長

近年感測技術和物聯網技術以及網路通訊技術，讓虛擬世界連結現實世界連結的「數位孿生」(Digital Twin)得以實現。隨著感知器更趨多元，可以量測真實工程結構本體與外在環境的各項物理量，包括：空氣品質、移動軌跡坐標、地振動、溫溼度、雨量、水位、亮度、電流……等。讓未來智慧城市的互動與應對更即時與細緻。

道路數位基礎建設架構

未來智慧城市議題中，有關實現數位孿生的相關技術，已成為工業4.0發展趨勢中的重要關鍵技術。本文擬將介紹數位孿生的道路數位基礎建設架構，下面依資料層、平台層至應用層的概念說明如下。

- 1.採集資料 (IaaS) 與資料層 (DaaS) 與道路面上與地下的各項圖資有關。高精地圖近期因為自駕車技術需求而帶動其重要性；而基於道路資產與安全的需求，高精度三維圖資資訊仍是道路交通運輸服務邁向智慧化不能或缺的資料層。
- 2.平台層 (PaaS)：交通運輸需要以大量觀測數據進行模擬分析，基於安全，對於路口的監測數據如何分析以提供車流當量；或者統計道路鋪面或設施維護的關係，必須有模組化的大數據分析、統計分析、模擬分析之平台層。
- 3.應用層 (SaaS)：跨單位的數位治理需要有更多跨部門的資料整合環境即時決策與輔助應變，尤其面對氣候變遷下，山區道路路網以及易淹水區域，道路設施服務更顯得脆弱，更需要依據證據基礎 (evidence-based)，來進行決策由應用層提供服務。



未來道路上將採用各類型影像與採集空間的載體，其涵蓋不同尺度以及解析度也將提升。採集之數據巨量且更多元，且更即時的多元監測數據來實踐數位孿生

資料層的基礎數位架構建置必須因應大數據時代的來臨作準備，並且必須發展AI相關技術，以便更及時的進行影像辨識與地圖資訊萃取與製圖。未來道路上將採用各類型影像與採集空間的載體，涵蓋不同尺度、提升解析度。

推動道路數位基礎建設實現數位孿生應用

「都市計畫法」第22條規定，都市計畫細部計畫圖之比例尺不得小於一千二百分之一。若要推動道路交通運輸的數位孿生更具實用性，必須將道路地圖比例尺提升，優於1/500。日本國土交通省採用行動測繪系統 (Mobile Mapping System, MMS) 設備，建立道路路網的數位基礎建設比例尺優於1/500，用於道路地面上與地下的各項基礎設施資產盤點與營運維護。

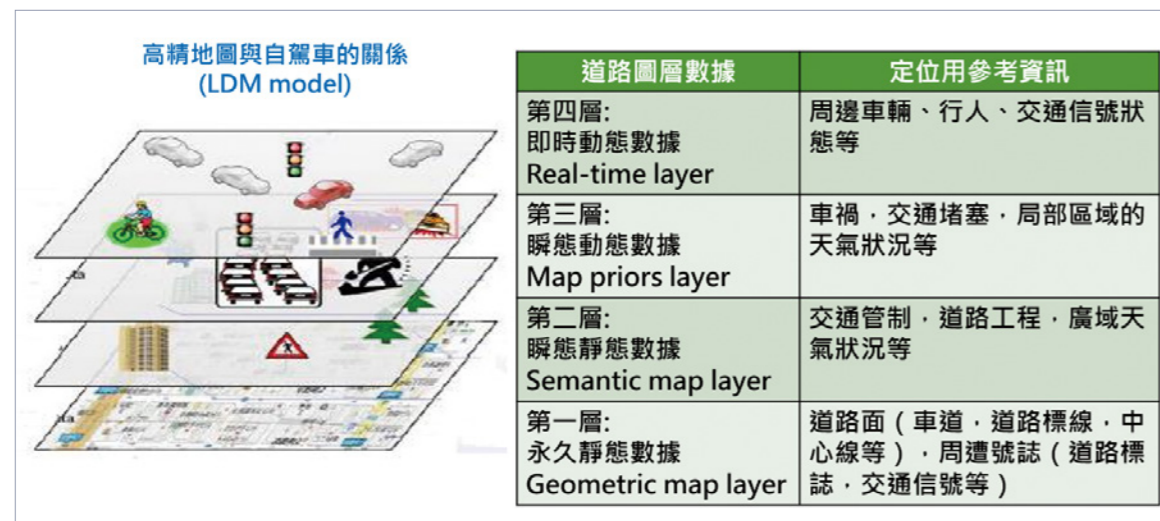
依據AECC定義的高精地圖 (High Definition Map, HD Map) 可分為四層，分別為永久靜態圖層 (Permanent Static Layer)、瞬時靜態圖層 (Transient Static Layer)、瞬時動態圖層 (Transient Dynamic Layer)，以及高度動態圖層 (Highly Dynamic Layer) 各層說明如下：

1. 永久靜態圖層為所有應用之地圖骨幹高精地圖，比例尺優於1/500。此圖層共記錄了

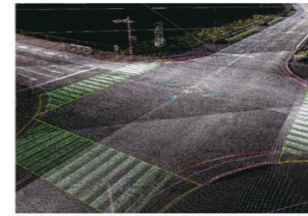
道路上三維之拓樸結構，以及屬於較不需要即時更新之道路資訊，包含車道線、斑馬線、路上標記、停止線、道路邊緣、安全島、停車格、號誌、標誌、橋梁、隧道等，並記錄這些設施結構之屬性資料。

2. 瞬時靜態圖層包含之道路資訊有交通管制、道路工程，和廣域的天氣情況等。
3. 瞬時動態數據包含的資訊有車禍、交通堵塞，和局部區域的天氣狀況等。
4. 即時動態數據包括了道路上行駛車輛的資訊、行人、以及交通信號狀態等。

上述四層的高精地圖具有三維的精確度，依據內政部「高精地圖圖資內容及格式標準」，平面精度須達至少 20 公分，垂直精度須達至少 30 公分，已經定義第一層永久靜態圖層的作業規範，也實際提供國內執行沙盒實驗計畫的自駕車團隊有所依循。



高精地圖四圖層 (改繪自 AECC)



Autonomous Vehicles 自動駕駛和安全支持系統，安全智慧的車輛移動

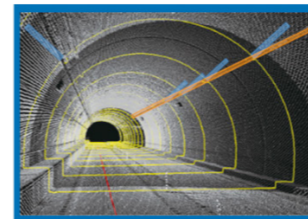
專注於下一代道路交通的案例研究，利用智慧化技術實現ITS。包括支持**控管有限的人員在交通移動**，**減少交通事故和死亡人數**，以及透過**減少堵塞**來減少碳排環境負荷。



Disaster Prevention/ Resilience 自然災害預防，創建減災抗災社區

在一個遭受洪水和地震等自然災害的國家，使用**高精度的三維地圖數據對於預防和減輕災害的影響至關重要**。

1. 災難重建：了解道路、建築工地和電線桿的位置訊息進行重建。
2. 災害預測：建築物倒塌和地震破壞模擬、海嘯、淹水模擬等情況做災害預測研究。



Transportation Infrastructure O/M 維護、管理和測量老化的公共設施

目前以目視檢查，**未來改由影像自動判釋檢查老化公共設施安全** (如道路鋪面、橋梁、隧道、水壩、電廠設施...)。**點雲數據和圖像數據**作為高精度三維地圖的數據來源，可以更有效且更低成本地進行檢查，**變位、變形、龜裂、滲水**。

日本將行動測繪系統的高精度地圖測繪成果，應用於自駕車高精地圖、防災模擬與規劃地圖、道路巡邏與營運維護

而高精地圖第二層至第四層的即時資訊，必須仰賴各項感知器與路側交通相關設施，以及各交通管理單位。如何將管理資料整合入高精地圖，並延伸更即時的道路服務，此乃未來數位孿生應用於交通運輸領域必須要思考如何整合的課題。

基於第一層高精地圖永久靜態圖層的三維圖資結構，提升至第四層即時動態數據補充入第一層的圖資中增加屬性的豐富性，可以提供落實數位孿生應用於交通運輸領域。建議可以先嘗試整合政府目前已公開的資料集，包括「交通部運輸資料流通服務平臺」(TDX) 與「民生公共物聯網」等國內重要的平臺。

推動道路數位基礎建設，建置道路的高精度基礎圖資是重要的步驟之一。自2010年起，日本行動測繪系統的高精度地圖測繪成果已經不僅應用自駕車的高精地圖，還進一步建構為了各項設施的三維模型，以巡檢道路設施進行維護管理與量測老化，巡檢品質結果並顯示於GIS圖資平台上。另一方面，也因為多災的日本環境，高精度的地圖具有三維的地形資訊，可以提升淹水與海嘯模擬於高程控制的正確性，同時也可以規劃適當的疏散避難道路；也因基礎圖資較精準，亦可以提供災後重建時更正確的決策資訊。

除本身高精地圖已有之道路資訊，為完整盤點道路資產，更能於地圖中加入其他道路

資產資訊。例如 道路地下公共設施維生管線，若須建立管理此公共管線數據資料庫，定位精確度則相對重要。因此，於此高精地圖的應用上，可先透過人孔蓋精準定位其位置，將此資訊繪製於高精地圖上，再加上必要之屬性資料，便可依此作為地下管線的定位依據。

以 RIM 建構道路立體模型

一般的建築營建採用 BIM (Building Information Model) 標準建構立體模型以進行管理。張家瑞等人(2013)與Chang and Lin(2016) 提出 RIM (Road Information Model) 道路相關的立體模型則應以RIM概念做建構。RIM會在道路及附屬工程的生命週期中，建立與管理道路相關空間資訊的過程，以三維、即時、動態的建模概念，以提升道路設計、施工、維管以至於城市整體建設的生產力。RIM 並不只是三維模型，其涵蓋道路上方及下方相關元件的數量、幾何性質、空間關係、地理資訊等。承繼RIM 之概念與 HD Map 嚴謹的圖形結構以及概念可以相輔相成，若將一區域道路的路面上與地下各項道路與附屬設施、以及地下管線之公共設施模型完整建構，道路資產維護管理將能更有效率。

本文接下來以台北市政府所管轄的路網為例，思考高精地圖由靜態至動態圖資的四層次。高精地圖不僅可使用於自駕車，更可以用於調適與因應氣候變遷，如因應短延時強降雨所引發的坡地災害與淹水災害；以及強

震威脅的複合災害環境。將高精地圖結合道路工程營運維護之品質管理，以及行車用路人安全之相關圖資資訊，可透過 AI 技術建立可預測之 AI 模型，可輔助制定出維持道路設施品質、降低交通事故與節能減碳之交通安全相關措施之規劃。以台北市政府為例，其各單位與中央單位的職掌，與其所對應的即時資訊更新與組織協調之合作可能性，簡述如下：

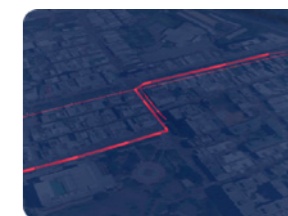
1. 交通局掌管交通號誌、標線、標誌維護與道路資訊服務。
2. 工務局水利工程處進行淹水區域標記。
3. 工務局公園路燈工程管理處負責路燈與路樹維運。
4. 工務局衛生下水道工程處負責人孔與下水道的維護與清理。
5. 大地工程處則負責人工邊坡與邊坡安全問題。
6. 工務局新建工程處則負責道路與橋樑養護以及道路維修現況。
7. 內政部警政署與地方政府針對交通事故、易事故與犯罪路段之提醒，並積極進行道路設計改善。
8. 交通部氣象局則因為強降雨以及強震也提供情資，提供公路養護與行車安全性參考。
9. 農業委員會水土保持局防災中心、水利署防災中心、交通部公路總局防災中心，目前各有災害應變機制分別發布土石流與坡地災害、淹水，道路封阻決策……等。針對道路路廊面對天災之安全預警機制，提供災害管理。

道路生命週期各階段數位孿生可扮演之角色

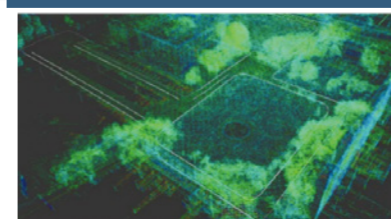
公共工程一般可以分為規劃、設計、施工、完成、維運等五階段：

1. 規劃階段

規劃階段可以於數位孿生架構中調整設計參數與增刪相關工程物件，可以視覺化先了解工程的預估成本以及成效，以利施工方案的決策。



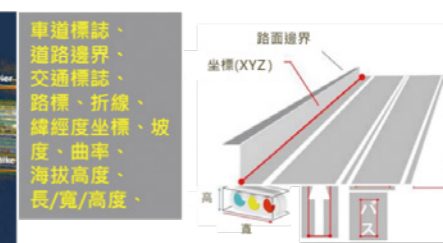
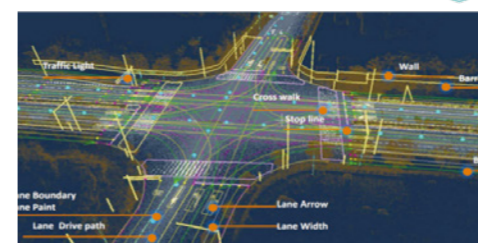
透過行動測繪系統進行空間資料採集 (LiDAR 點雲、環景影像)，製作成道路上各項設施的三維向量物件，輔助規劃設計。



點雲資料(point cloud)



環景圖資(panoramic image)



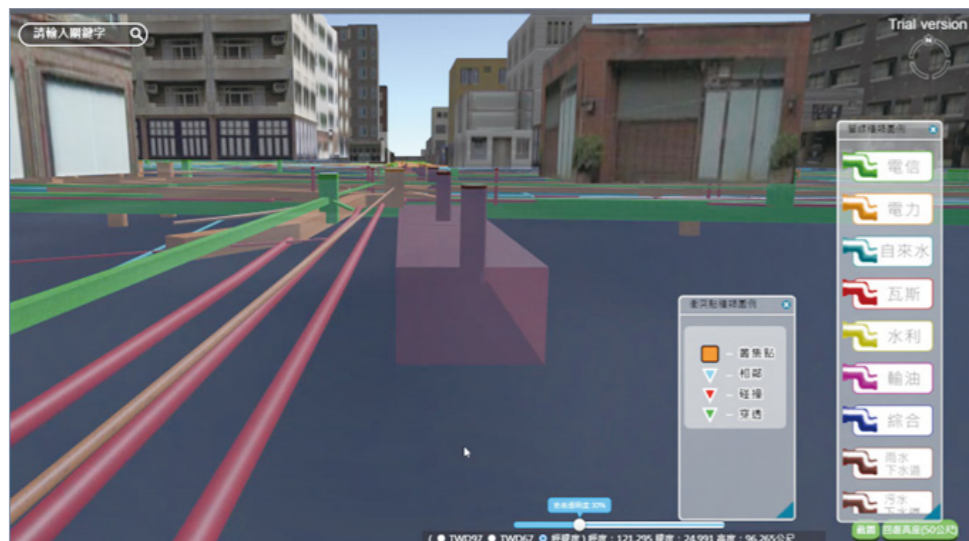
可以預先模擬管線部署於道路改善之程度，進行管段之管徑與流向分析，即時動態檢視，瞭解道路瓶頸區段的设计規劃。



瞭解淹水潛勢區域提供視覺化介面，可以調整區域排水系統或者增加抽水機可以立即檢視出道路淹水情形的改善情形 (桃園市水務局提供)

2. 設計階段

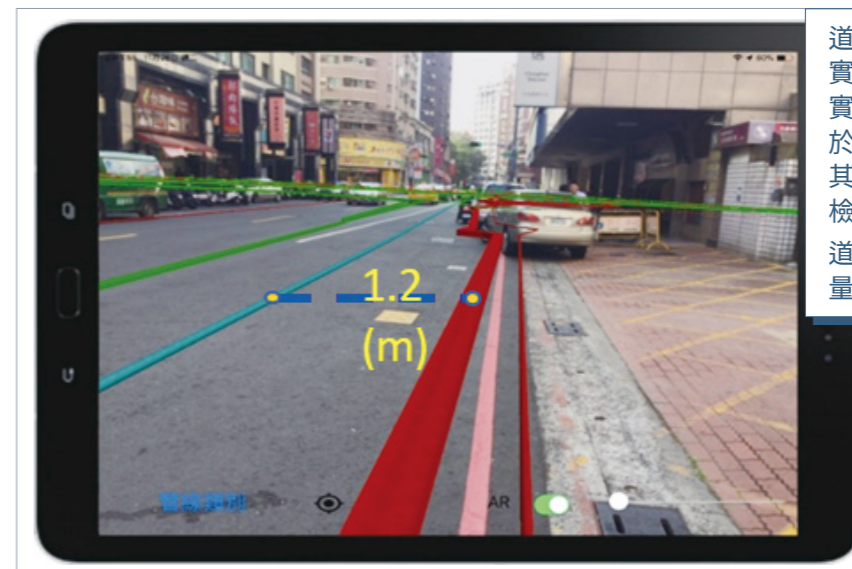
數位孿生可套疊精準的各項施工範圍內的三維圖資，可輔助設計者降低風險的相關分析。



道路設計階段將設施地面與地上各項管線與設施有衝突風險之處能預先避免
(桃園市水務局提供)

3. 施工階段

設計圖與現地環境能虛實整合的數位孿生架構，透過擴充實境的作法可以讓施工單位快速掌握工程的預期風險，尤其地下管線的配置狀態一目瞭然，若能增加現地監測感知器，例如：傾度盤、有害氣體監測、地下水滲水…等即時資料傳輸，可以即時檢視，並且發布警戒值通知現場人員，也讓現場工作人員可以有效降低工安事件發生。



道路施工過程透過擴充實境將地下管線套疊於實際空間的影像中，利於研判施工範圍以及域其風險，可以點選物件檢視目前狀態
道路開挖施工，可以丈量管線於道路的距離



工程設備目前運轉的狀態即時可以查詢

4.完工階段

數位孿生必須要有更新與版次控管的機制，瞭解設計圖與最後竣工圖之間的差異，甚至註記說明變更設計的原因。

Excel 自動建模(Automatic generation)

管線之間有斷點裂縫(gap)

可自動填補斷點裂縫(fix)

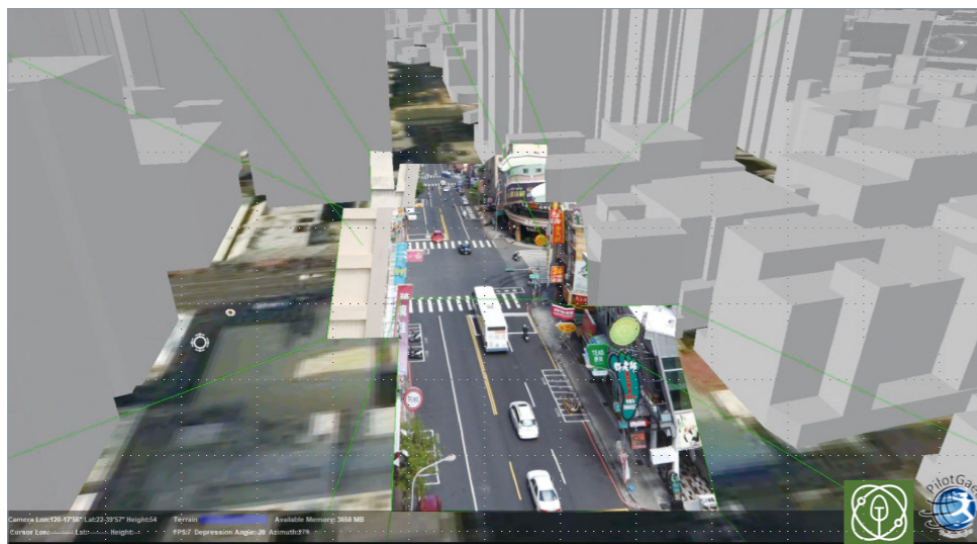
管線數據自動填補

省錢、省時、省力

管線有許多不正確與不合理之處，必須重新繪製，調整使得完工階段的地下管線的空間性正確 (桃園市水務局提供)

5.維運階段

道路管理權責的利害關係人經常是跨單位機構，圖資整合與橫向溝通效率不佳，造成道路相關設施的維護與重建協調不易，其中下水道管網維護就是一個例子，易淹調度、巡檢清淤、偷排廢水等取締事件無法第一時間掌握資訊，管理單位難以有效率決策，期望未來可以透過數位孿生架構下能共享圖資與數位治理。



道路上的 CCTV 與三維空間模型整合，可以統計實際道路車流人流的即時情形，瞭解交通壅塞情形，進而控制交通號誌。

實際每日巡查 滾動式提升準確率:
台北市現行AI道路巡查系統

薄層剝離(15%)

路面坑洞適地性自動辨識及雲端告警，顯示於 GIS 圖台，
並以 AI 偵測可即時通報道管中心 (台北市工務局提供)

目前行動測繪系統已普遍成為採集道路地圖的良好測繪設備，在內政部制定高精地圖的製作標準後，同時也提供交通部推動道路數位基礎建設的規範基礎。未來完成數位道路後，實現智慧道路與數位孿生的發展願景將有助於道路工程於規劃、設計、施工、完工與維運的各階段生命週期提供良好數位治理應用環境，讓跨單位利害關係人的溝通協調，可以具有更即時展示、三維可視化、依據證據決策的依據。■



參考歐美再生能源資料揭露法制 促進臺灣數位分身發展

作者 —— 王柏蘆 —— 達德能源集團 能源法務經理

數位分身 (Digital Twins) 係以數位方法複製物理等相關環境[註解]之技術，複製出之數位環境可重現該物理環境之運作模式。透過此一數位環境，人類或人工智慧 (artificial intelligence, AI) 可預先且充分理解到「決策或行為」在「不同的狀態下」可能產生的「結果或報酬」，協助人類進行判斷與決策，亦可加速人工智慧之訓練與發展。

電力為各國能源發展的重點之一，運用每

分每秒產生之巨量資料建立數位分身，將對於發展電力產業相當有幫助。例如英國牛津布魯克斯大學 (Oxford Brookes University) 工程、運算與數學學院研究團隊即利用電腦模擬，調整風機設計之陣列、角度、旋轉方向、渦輪機間距和轉子數量等，找出風機最佳設計方案，使發電量最大化。

而建立臺灣之電力產業數位分身，除協助發展臺灣的能源產業，亦可協助我國邁向

淨零碳排。我國電業法第25條已規定輸配電業應建立電力網地理資訊管理系統、記載相關資料；同法第11條亦規定電力交易平台應充分揭露交易資訊，以達調節電力供需及電業間公平競爭、合理經營之目標。而台電也已長期公布電力相關資料，其中所公布之資料包含但不限於風力及太陽光電發電量、每日尖峰備轉容量率、各機組發電量即時資訊、用電統計資料等。故我國目前電業相關資料，已有相當之揭露，然而實際上，如欲建立完善之電力產業數位分身，再生能源發電業除及時發電資料外，其他輔助性資料之即時傳輸、揭露，亦屬必要；例如向輸

配電業傳輸並更新氣候、水文、機組維運狀況，以便輸配電業及時進行調度或於電力市場上調度備用容量之輔助服務等資訊亦可協助我國建立更完善之電業市場。

然而，此類資料原則上仍屬於發電業者所有，如何透過法制或其他方式，使發電業者即時並且定期更新、傳輸、揭露此類資料，則成為重要議題。為此，本文即試圖分析先進國家對於此議題之作法，以供我國未來參酌。離岸風電資料之提供，如以階段區分，可分為申請階段與維運階段之離岸風電資料之提供。

申請階段應提供之資料內容

(一) 英國的供應鏈計劃指引

於英國，如欲參與英國之「交易差額契約」(Contract for Difference, CfD)，離岸風業者應提出合格之供應鏈計劃(Supply Chain Plan, SCP)。為此，英國商業、能源及產業策略部(Department for Business, Energy and Industrial Strategy, BEIS)於每年皆會公布當年度之供應鏈計劃指引(Supply Chain Plan Guidance, SCP Guidance)。

依BEIS於2018年所公布之SCP Guidance，如離岸風電廠商申請參與交易差額契約，英國BEIS要求離岸風電廠商應提供SCP，有關SCP之內容，BEIS僅提供大方向之指引，離岸風電廠商可選擇不同之呈現方式，然依照附件B(Annex B)，離岸風電業者應提供之資料建議至少包含基樁(Foundations)、塔架(Towers)、渦輪(Turbines)、海纜(Cables)以及其他維運有關技術資料(Operations and maintenance)。



(二) 英國皇家財產局協議

英國皇家財產局(The Crown Estate)主要負責與離岸風電廠商簽署區塊之租賃契約，如離岸風電廠商或其他海洋能源(如潮汐或洋流發電)廠商申請使用海岸土地，須提供所規定的離岸風電資料。且如有需要，離岸風電廠商應提供至離岸風場除役為止。

離岸風電廠商所提供之資料內容應「盡量」包含：「海底地形」(可以是多波束探測、聲納等技術探測結果)、「電纜路線」、「該場域風向與風速」(類Gradient Vector)、「溫度(海面上及下)」、「氣壓」、「海面上濕度」、「太陽光幅」、「視線能見度」、「海底土質及深度」、「洋流及潮汐方向與速度」、「生物種類、數量及分布」、「鳥類棲息、覓食及移動路線區域」、「海底遺跡種類及區域」、「海底音量監控」、「船舶運輸之衝擊及風險之評估」、「除役計畫」。

此外，相關資料格式標準應符合「海洋環境資訊網路描述性資料標準」(Marine Environmental Data Information Network, MEDIN, discovery metadata guideline)以及「海洋環境資訊網路資料準則」(Marine Environmental Data Information Network, MEDIN, data guideline)。前者目的在於使離岸風電業者所提供之描述性資料(metadata)，可為第三方所用，故英國皇家財產局會要求離岸風電業者，對於其資料之描述應符合一定格式標準，且其內容應包含(但不限於)「名稱及主題」、「資料之經緯度」、「紀錄時間」、「更新頻率」等。

以「資料之經緯度」之格式標準為例，離岸風電業者所應標記之資料為：

| | |
|------------------------|--------|
| westBoundingLongitude: | -4.351 |
| eastBoundingLongitude: | -1.348 |
| northBoundingLatitude: | 52.949 |
| southBoundingLatitude: | 52.117 |

依英國皇家財產局要求，所有離岸風電廠商所提供之上開離岸風電資料，應上傳至「海洋資料交換系統」(The Marine Data Exchange, MDE, System)。此外，提供資料時廠商應注意應符合GDPR以及英國資料保護法(Data Protection Act 2018)之標準，個人資料不應出現在離岸風電資料中。

維運階段應提供之資料內容

(一) 英國促進離岸風電 2035 裝置容量報告

英國商業、能源及產業策略部於2019年10月15日公告「促進英國離岸風電2035裝置容量報告」(Potential to improve Load Factor of offshore wind farms in the UK to 2035)，其中建議離岸風電業者建置離岸風電「即時監控與資料採集」(supervisory control and data acquisition, SCADA) 技術，但本號指引，並未明文規定離岸風電業者應將SCADA資料傳輸予輸配電業者。

(二) 美國 661 號行政命令

美國聯邦能源管理委員會 (Federal Energy Regulatory Commission, FERC)，於2005年6月2日發布第661號行政命令 (FERC ORDER 661)，並規定大型離岸風電電場 (大於20MW)，於併網時，亦應建置離岸風電「即時監控與資料採集」技術，並將所蒐集資料 (例如各種氣候因素與發電量之間之關聯資料) 即時傳輸予以輸配電業者 (Transmission Provider)，同時應有接收輸配電業者所提供之即時建議之技術能力。

至於應傳輸之資料內容，FERC並未強制規定，而係交由輸配電業者與離岸風電發電業者相互協調，如無法協調，則交由FERC裁決。此外，FERC於本號行政命令中，也再次強調，本號行政命令並未賦予輸配電業者「直接控制」離岸風機之權限，輸配電業者僅得提供「建議」予離岸風電發電業者，至於是否接受，或者接受程度為何，則交由輸配電業者與離岸風電發電業者協調。

(三) 丹麥併網技術規定

丹麥電網電力傳輸部門 (Eltra Transmission Lines Department, Eltra)，依照丹麥能源部2002年6月11日第444號行政命令，於2004年5月19日公布「離岸風機裝置容量大於100KW時之併網技術規定」(Wind turbines connected to grids with voltages below 100 kV, Technical regulations for the properties and the control of wind turbines)，其中要求離岸風電發電業者，應將指定內容之有關資料分享予電力傳輸部門，資料有所變動，離岸風電業者應以即時自動化之方式 (transmitted automatically) 將資料更新予電力傳輸部門。

丹麥的併網技術規定指定的分享內容：

| 資料內容 | 數量以及類型 |
|------------------------|--------|
| 電頻之最高與最低限制 | Hz |
| 實際高位電頻與低位電頻 | Hz |
| 低電壓位之電壓 | V |
| 功率電力 (active Power) | kW |
| 無功率電力 (Reactive Power) | kvar |
| 損失電力 (lost production) | kWh |
| 因風力過大而停止併網之 WTG | 視情況提供 |
| 因業者控制而停止併網之 WTG | |
| 因零組件失靈而停止併網之 WTG | |

(四) 加拿大併網技術規定

加拿大亞伯達省電力系統維運 (Alberta Electric System Operator, AESO) 於2004年11月15日公告「離岸風電併網技術規定」(Wind Power Facility – Technical Requirements, Revision 0)，其中規定，為了穩定AIES電網系統之穩定性，離岸風電發電業者 (Wind Power Provider, WPF) 亦應遵循AESO「即時監控與資料採集」標準，將有關離岸風電發電資料即時傳輸予AESO。



透過法規更新揭露即時監控資料

由上述例子可知，多國皆以法規要求再生能源發電業者提供發電資訊。再生能源發電業，特別是離岸風電業者，除及時發電資料外，其他輔助性資料之即時傳輸、揭露，亦屬必要。此種資料對於預測未來發電狀況、以便輸配電業及時進行調度，或於電力市場上調度備用容量之輔助服務等，皆甚為重要。然此類資料原則上仍屬於發電業者所有，職是故，如何透過法制或其他方式，使發電業者即時並且定期更新、傳輸、揭露此類資料，則成為重要議題。

臺灣電力資料的現況與展望

我國離岸風電之「潛力場域」於遴選階段，雖有要求業者提供所使用之相關技術資訊，然而目前並無硬性要求業者應提供「海底地形」、「該場域詳細風向與風速」、「溫度（海面上及下）」、「氣壓」、「海面上濕度」、「太陽光幅」等，大多仰賴業者之自主提供。可能原因之一為我國政府多已掌握潛力場域之資料，然而於未來當離岸風電發展不侷限於潛力場域，邁向業者未來自行規劃之區塊開發場域、以及深海經濟海域時，應進一步考慮設置制度促使業者揭露相關資料。

此外，台電雖可透過與業者拼接點之電力偵測，知悉目前再生能源電力供應狀況，然而針對業者自己所擁有之相關SCADA資

英國、美國、丹麥、加拿大等先進國家，皆有要求離岸風電業者建置「即時監控資料」收集系統，並與輸配電業者同步前開資料，以便輸配電業者能掌握電力即時情況，以便及時平衡電力的供應與消費之曲線。

此外，由以上英國之立法例可知，於業者申請階段，除技術規格外，英國BEIS亦要求業者提供相關海域之水文環境狀況之具體資料。

料，並無強制要求業者應予提供。而未來是否可要求相關業者提供，以便預測未來發電狀況、以便及時進行調度或於電力市場上調度備用容量之輔助服務等，亦可謹慎思考之。

最後，集結每分每秒產生成之巨量資料，將有機會建構我國電力產業之數位分身。數位分身將有機會讓電力市場參與者知悉電力未來供需狀況，再搭配儲能系統業者之市場機制，有助於健全我國電力市場，並協助我國邁向淨零碳排。

註解：此處物理環境定義包含（但不限於）產品本身設計方式、產品本身之外在狀態、道路、市場、農地或者是都市交通。■

參考資料

1. Vertical turbines could be the future for wind farms, Oxford brookes university, 2022/4/26.
2. BEIS, SUPPLY CHAIN PLAN GUIDANCE For projects of 300MW or more applying for a Contract for Difference, 2018/9.
3. MEDIN, Marine Environmental Data Information Network, MEDIN, https://www.medin.org.uk/sites/medin/files/documents/8_MEDIN_data_guidelines_dec14.ppt (last visited, May 2, 2021).
4. Becky Seeley, James Rapaport, Olivia Merritt, Mark Charlesworth, Sean Gaffney. Guidance notes for the production of discovery metadata for the Marine Environmental Data and Information Network (MEDIN), p.7., 2022/7/8.
5. BEIS, Potential to improve Load Factor of offshore wind farms in the UK to 2035, 2019/10/15.
6. Docket No. RM05-4-000 – Order No. 661, Interconnection for Wind Energy, p. 40., 2005/6/2.
7. Transmission Lines Departmen, Wind turbines connected to grids with voltages below 100 kV, Technical regulations for the properties and the control of wind turbines, 2004/3/19.
8. AESO, Wind Power Facility – Technical Requirements, Revision 0, 2004/11/15.



活動資訊



中華民國地理學會

2022 年中華民國地理學會「後疫情時代的地理學」學術研討會

時間 2022 年 5 月 14 日 (六)

地點 中國文化大學大孝館柏英廳 (台北市士林區陽明山華岡路 55 號)



國立臺灣師範大學地理學系

第 26 屆臺灣地理國際學術研討會

時間 2022 年 5 月 28-29 日

地點 線上模式 (使用 google meet 線上舉行)



台灣地理資訊學會

2022 年台灣地理資訊研討會

時間 2022 年 7 月 13-14 日

地點 集思台大會議中心 (台北市大安區羅斯福路四段 85 號 B1)



內政部

國土空間資訊講座 - 國土空間資料基礎之跨單位圖資整合運作

時間 2022 年 7 月 28 日 (四)

地點 線上會議室



內政部

111 年度國家底圖分組系列活動 - 數值地形模型資料發表暨使用者論壇

時間 2022 年 9 月 1 日 (四)

地點 國立中興大學應用科技大樓 2 樓 242 教室



國立中興大學

第 40 屆測量及空間資訊研討會

時間 2022 年 9 月 1-2 日

地點 國立中興大學 理學大樓 1 樓國際會議廳



中華民國地圖學會

2022 地圖學術研討會暨史地學術研討會

時間 2022 年 10 月 15 日 (六)

地點 臺北市立大學博愛校區公誠樓 2 樓地 3 會議廳



內政部

國土空間資訊講座 - 空間資料基礎建設中之資料目錄及其資料描述的關聯性分析與運用

時間 2022 年 10 月 28 日 (五)

地點 線上會議室



GeoDigital Life 空間數位生活 2022 Vol.1

發行人：鄭俊昇

策劃：許慈紋

本期主編：黃智遠

總編審：賴昆祺

執行編輯：張雅筠、李孟穎

文字編輯：陳亭瑋

美術編輯：林昱君

插圖素材：Shutterstock、freepik.com

出版單位：財團法人台灣地理資訊中心

地址：台北市中正區羅斯福路一段七號六樓

出版日期：2022年11月

DIGITAL



TWIN