

應用建築資訊建模(BIM)及延展實境(XR)技術於消防救災輔助系統研究 期末報告

內政部建築研究所協同研究案 三二年度

應用建築資訊建模(BIM)及延展實境(XR)

技術於消防救災輔助系統研究

(期末報告)

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 111 年 12 月

應用建築資訊建模(BIM)及延展實境(XR)

技術於消防救災輔助系統研究

(期末報告)

計畫主持人：王榮進所長

協同主持人：周建成教授

研究員：厲妮妮、劉青峰、陳士明

研究助理：王如觀、李函玲、蘇于翔、王乃儀

研究期程：111/03/25—111/12/31

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 111 年 12 月

目次

目次.....	i
表次.....	iii
圖次.....	iv
摘要.....	vi
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起、背景與預期目標.....	1
第二節 研究目的與重要性.....	2
第三節 研究方法與步驟.....	7
第二章 蒐集之資料、文獻分析.....	11
第一節 數位雙生技術文獻.....	11
第二節 穿戴式技術規格與文獻.....	13
第三節 嚴肅遊戲開發平台與相關文獻.....	15
第四節 電腦輔助防災模擬文獻.....	16
第五節 最新 XR 技術相關文獻.....	19
第六節 火場 IOT 感測器文獻回顧.....	30
第七節 文獻評析.....	34
第三章 系統架構與設計.....	35
第一節 從 BIM 轉型建置 XR 系統作法.....	35
第二節 室內佈署 IoT 常見問題與解法.....	40
第四章 系統實作與示範.....	47
第一節 從 BIM 萃取資訊.....	48
第二節 於 3ds Max 執行自動轉檔.....	49
第三節 置放感測器與自動上傳監測數據.....	49
第四節 開啟 Unity/XR/DB 服務.....	51
第五節 指揮官操作 VR 介面與互動.....	52
第六節 現場隊員操作 XR 介面與互動.....	53

第五章 研究結論與建議.....	56
第一節 結論.....	56
第二節 建議.....	57
附錄一 工作會議紀錄.....	61
附錄二 第一次專家座談會會議紀錄.....	67
附錄三 期中審查會會議紀錄.....	73
附錄四 新北市 ERCA 參訪暨工作會議紀錄	81
附錄五 第二次專家座談會會議紀錄.....	83
附錄六 XR 消防訓練輔助系統操作手冊	89
參考書目	91

表次

表 2-1 市面上常見的 VR 裝置.....	14
表 3-1 Revit 下各類型資訊在轉置 Unity 時的問題.....	36
表 3-2 物聯網 push 與 pull 傳輸比較.....	41
表 3-3 硬體規格表	42

圖次

圖 1-1 數位雙生的資料流	3
圖 1-2 營建業數位雙生的各種作法	5
圖 1-3 本系統兩大使用者與主要功能	10
圖 1-4 本系統三大部分與資料流向	10
圖 2-1 數位雙生概念	12
圖 2-2 MASA SWORD Emergency Preparedness 系統操作介面	17
圖 2-3 TYGRON Serious Game 系統操作介面	18
圖 2-4 VR、AR、MR 穿戴技術比較	19
圖 2-5 BIM-XR 系統應用框架	20
圖 2-6 BIM-XR 工作流程	21
圖 2-7 BIM-XR 在營建產業的應用	22
圖 2-8 AR 可視化施工現場信息	23
圖 2-9 XR 結合 BIM 在營建產業的導入步驟	24
圖 2-10 BIM-VR 的工作流程	25
圖 2-11 BIM-MR 的工作流程	25
圖 2-12 臺北市政府都市發展局實證架構圖	26
圖 2-13 HoloLens 在醫療保健和工程領域的應用	27
圖 2-14 操作手勢控制模擬畫面	28
圖 2-15 操作手勢控制模擬畫面	29
圖 2-16 手勢操控下的平面示意圖	29
圖 2-17 LM35 示意圖	30
圖 2-18 感測器網路	31
圖 2-19 溫度感測器	32
圖 2-20 外觀示意圖	33
圖 3-1 某棟 Revit 完整房子	37
圖 3-2 未經處理在 Unity 下對應的房子	37
圖 3-3 材質轉換機制流程圖	38
圖 3-4 Arduino 監測盒(第一代).....	41

圖 3-5 Arduino 程式流程圖	44
圖 3-6 Wi-Fi 模組程式流程圖	45
圖 3-7 監測資料蒐集程式流程圖	46
圖 4-1 整體系統運作流程	47
圖 4-2 程式調整逃生路線之介面	48
圖 4-3 自動轉檔程式示範	49
圖 4-4 Arduino 感測器裝置實景(第二代).....	50
圖 4-5 Arduino 感測器在 XR 的顯示.....	51
圖 4-6 桃園市龜山區某長照中心內啟動 XR 系統.....	52
圖 4-7 VR 的主畫面	53
圖 4-8 VR 的感測器資料庫查詢介面	53
圖 4-9 XR 的路線顯示及感測器數值.....	54
圖 4-10 XR 的路線顯示及感測器數值.....	54
圖 4-11 XR 透過手勢(下方選單)練習找到與關閉瓦斯	55

摘要

高互動性、身歷其境的虛擬體驗、擴增實境等應用和行動科技，已在各行各業創造出超越以往甚或不同於以往的應用。沉浸式體驗從虛擬實境(virtual reality, VR)、擴增實境(augmented reality, AR)、混合實境(mixed reality, MR)至延展實境(extended reality, XR)等，正於全球蓬勃發展，如何將其應用於建築方面，是內政部建築研究所近年致力研究的方向。當建築物發生火災時，消防員抵達現場需進行初步評估，包括考慮起火點、避難者與水線佈設等問題。目前已有相關研究成果可協助選定最佳入室救援路線，然而多為二維平面圖。若能讓消防員於實際進入建築物火場前，即可預先模擬並感知可能情境，將有助於火場救援及快速滅火，大幅減少生命財產損失。本研究期望未來可於指揮中心接獲火災報案後約莫 5 分鐘內，利用建築物之建築資訊模型(building information modeling, BIM)結合現代科技，依建築與火災類型快速轉換並建立 XR 模型，搭配現場物聯網(internet of thing, IoT)取得重要環境面參數，運用電腦程式合理預測火場變化，進而在 XR 內呈現。消防員可利用此一技術成果，在抵達現場前便已從虛擬體驗瞭解火場狀況，可大幅提升救援準備之效能。

BIM 是目前世界各國營建產業，積極推動的建築資訊技術，在我國亦是方興日盛。在政府推動下，可預見未來大多數建築物將具備其 BIM 模型；透過本研究建置之輔助系統，快速將 BIM 模型資訊轉化，建置火災模擬場景，做為輔助消防救災之用。本次報告為本計畫期中進度說明，包含文獻回顧與 BIM-XR 系統雛型，及第一次專家座談會議紀錄等。

關鍵字：建築資訊模型，延展實境，數位雙生，消防訓練

第一章 緒論

第一節 研究緣起、背景與預期目標

高互動性、身歷其境的虛擬體驗和行動科技等，已在各行各業創造出不同於以往或甚至超越以往的應用。沉浸式體驗從虛擬實境(virtual reality, VR)、擴增實境(augmented reality, AR)、混合實境(mixed reality, MR)至延展實境(extended reality, XR)等技術，正於全球蓬勃發展，例如臉書力推的元宇宙(metaverse)趨勢，如何將其應用於建築方面，可謂本研究的主要動機。

當建築物發生火災，消防員抵達現場需進行初步評估，包括考慮起火點、避難者與水線佈設等問題。現行作法多僅有建築的二維平面圖，例如甲種圖為火災現場附近的街道與建築、水源狀況與位置、供消防救災車輛出入的圖說；乙種圖則為該棟建築每一樓層結構、通道的平面圖，並有標註各類火災偵測與器材等位置。消防隊員在入室搶救前，多半僅能從上述圖資想像室內情況，若遇到空間佈局複雜的建築物，此不熟悉感勢必增加搶救時間。

本研究的發想為：若消防隊員在入室前，可預先模擬室內樣態並體驗可能的情境，應有助於火場救援效率，也應能減少生命財產損失。本研究期望未來可於指揮中心接獲火災報案後約莫 5 分鐘內，利用該棟建築之建築資訊模型(building information modeling, BIM)，結合現代 XR 科技，可依建築與火災類型快速轉換並建立 3D 場景，若能進一步搭配現場物聯網(internet of thing, IoT)傳回之重要環境參數，如溫濕度、照度、煙霧狀況等，則可運用電腦計算，預測火場合理的變化，最後搭配 XR 裝置讓隊員在入室前體驗，除提升空間感知力(situation awareness)，也能預先瞭解火場變化，以提升火災救援準備的效能。

目前僅 VR 與 AR 有對應在市場上成熟的產品，XR 技術大多需要客製化，針對特定問題與領域，整合各方資料與技術，方可達事半功倍境界。因此，本研究預期工作為：

- 發展一套 XR 輔助系統，使得建築物 BIM 模型可快速轉建為火災救災預演

用，可供消防員於趕赴火場前預先演練火場救援情境，且有助於事先攜帶適當之消防設備及工具，提升救援效率

- 依建築現場 IoT 收集之環境數據與應用電腦程式之推論引擎，可推得數分鐘之火場情境變化
- 提出本輔助系統操作手冊，及製作系統操作步驟及成果說明影片，並附旁白
- 辦理本所北部及南部計 2 場操作教育訓練

第二節 研究目的與重要性

在元宇宙趨勢下，諸如微軟、Google、Apple 等大力推動相關技術的市場應用。在建築工程領域，建築資訊建模可謂元宇宙技術的先行者，目前歐美日等國已有大量應用實績，而在我國公私部門建築物之應用情況亦不惶多讓，均可謂 BIM 讓當代建築物有數位模型與其表徵。

元宇宙潮流下的另一系列技術為 VR/AR/MR/XR。VR 與 AR 皆在市面上已有成熟產品，前者如 HTC VIVE Pro 2，為頭戴式顯示器，讓使用者沉浸在虛擬世界，獲得影像與聲音等體驗感；後者如微軟 HoloLens 2，在真實世界中透過此智慧眼鏡，擴增出虛擬物件，並讓使用者可與之互動。MR 可謂結合 VR 與 AR，一併呈現在虛實世界中；而 XR 不但涵蓋 VR/AR/MR 等技術，更強調使用者與虛實世界空間環境的各式互動與體驗，包含時間軸的未來情境預測，雖市場上尚未有殺手級應用，但已被各方看好，應為元宇宙的新技術主流(Goode 2019; Dent 2022)。

依本計畫需求說明文件所述，BIM 是目前世界各國營建產業最重要的資訊技術，在政府推動下，可預見未來大多數建築物將具備其 BIM 模型。若透過本研究建置之 XR 式系統，快速將 BIM 模型資訊轉化，建置火災模擬場景，應能輔助消防救災。

若探討 XR 技術起源，須從數位雙生開始。數位雙生為現今智慧城市等新興

領域的重要資訊技術，從傳統的虛實系統(Cyber-Physical System, CPS)演進，期望藉由 IoT 在真實世界大量佈署，取得實體系統的即時狀態，進而先在虛擬世界尋求實體世界發現問題的解決之道，最後套用在實體世界中。在機械製造領域，此概念已應用成熟，如 GE 等公司生產的飛機引擎均配置許多感測器，在運作當下傳送大量數據給控制中心來分析，當飛機在下一個機場準備降落時，經分析可知引擎需要更換的零件為何，以便提早送達，或是當飛機一降落便知該維修的項目，藉此確保飛機能準時再起飛。晚近 DT 的著名應用如 Uber，透過手機收集旅客、駕駛及汽車的即時資訊，在伺服器端進行配對，指派哪一台車運送哪一位乘客至何處，以求得整體旅運網路的最佳解，其特色均為：從實體世界收集資料至虛擬世界，進行運算後，回饋至實體世界指導下一步行為。部分學者因此定義數位雙生技術的三層級(Kritzinger et al. 2018)，如圖 1-1 與以下說明：

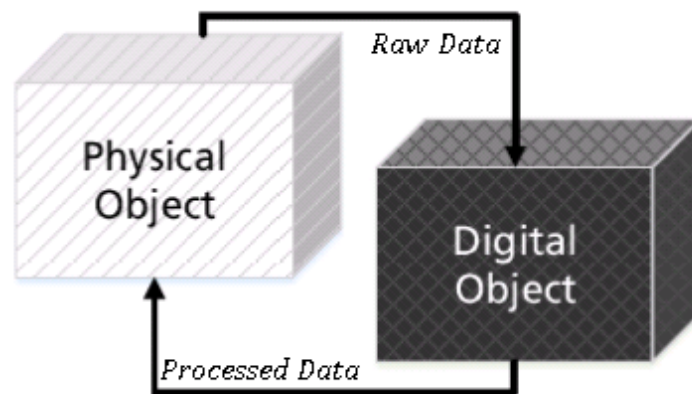


圖 1-1 數位雙生的資料流

資料來源：(Kritzinger et al. 2018)

- 數位模型(Digital Model)級

此作法僅將實體世界的物件，在虛擬世界建立對應數位模型，建立之後，資料較無從實體或虛擬物件有流動，亦即無任何實體狀態資料之自動化更新機制。例如，在營建產業，若建築物完工後的竣工 BIM 模型，交付給業主之後，若建築物有後續裝潢或裝修、維護或更新等工作，但並無更新對應的 BIM 模型，則為此類。此數位模型，將隨著時間流逝，逐漸離實體世界建築物越來越遠，價值亦降低甚多。

- 數位影子(Digital Shadow)級

此層級僅較上一數位模型層級，多出資料自動從實體到虛擬物件功能，換言之，虛擬世界之數位物件時時刻刻可知準確的實體物件狀態，但也僅止於此，未有任何延伸。

- 數位雙生級

相較於數位影子級，實體物件的數位雙生，不但有即時的實體物件狀態值，在虛擬世界中產生任何演算或推論結果，也能對實體物件有所影響。例如前述 Uber 透過實際派車將旅客運至欲前往的地點，從旅客收取車資，同時也付給駕駛運費。

從數位雙生技術相關文獻來看，數位雙生系統應具備以下特點(Wired Brand Lab 2017)：

- Connectivity

連結的特性。IoT 可謂數位雙生的底層技術，數位雙生需要 IoT 裝在實體系統中，並能將監測的資料回傳中心進行後續分析。

- Homogenization

同質化的特性。只要能將實體世界某狀態予以數位化，則現今資訊技術必可將此數位資料予以傳遞或保存，收集足夠資料便可做出數位雙生。因此，有學者主張資料格式並非重點，問題在於實體世界被偵測狀態是否足夠，一旦數位雙生可被建立，由於資訊處理成本較低，將可快速被多人使用。學者 Dr. Michael Grieves 主張：過去人類必須在工廠旁邊建立辦公室，用以管理工廠；一旦工廠的數位雙生可被建立，則所有工程師與經理可在遠端管理此工廠，並且，可同時管理其他已建立數位雙生的眾多工廠。應用數位雙生技術後，管理能量將大增，且因人員可集中在同一辦公室，知識與經驗得以分享。

- Reprogrammability and Smart

數位雙生的實體世界，藉由動作器(Actuator)可進行調整，使得虛擬世界下達的指令可透過動作器在實體世界實現。數位雙生的終極目標仍是希望實體世界變更好，在虛擬世界構思出的方案，有時仍需要人類與動作器在現場操作，實際調整實體世界。

- Digital Traces

數位雙生系統必定留下數位遺跡，亦即歷史紀錄，供後續分析使用。

- Servitization

此概念代表廠商不再只銷售產品，而不關心產品的用後服務。建立數位雙生後，某種程度讓製造廠商轉變心態，以賣服務而非只賣產品，對客戶提供更好作法。在營建業，不少建商自行成立物業管理公司即為此例，對所售出的產品建立虛擬世界的對應，便可能比較所有產品實際效能，藉以構思產品的下一版。

在營建產業，例如最近一期的 ASCE Journal of Management in Engineering，一些學者提出營建業數位雙生作法應如圖 1-2 所示(Agrawal et al. 2022)：

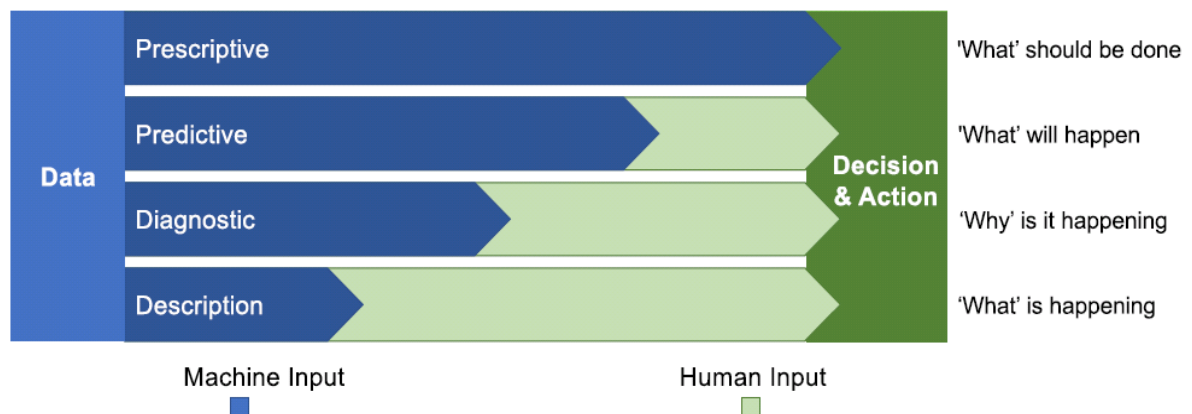


圖 1-2 營建業數位雙生的各種作法

資料來源：(Agrawal et al. 2022)

圖 1-2 左方為實體世界的狀態資料，右方為虛擬世界計算後的建議決策與行動，圖 1-2 的最下一層類似數位影子作法，在虛擬世界僅能【觀看】實體物件的

狀態，例如高速公路為實體物件，高公局行控中心為虛擬物件，可利用不同燈號提醒用路人目前哪一路段較塞車或較通暢等。圖 1-2 第三層的【Diagnostic/診斷】作法，虛擬世界除了收集實體物件的狀態值，透過電腦也應有診斷能力，瞭解真實世界之事件發生的原因，例如高速公路行控中心對於某塞車路段，判斷為某閘道口管制不良等。圖 1-2 第二層的【Predictive/預測】作法，除了在虛擬世界收集與診斷實體物件狀態，也應預測該物件的未來狀況；而圖 1-2 的第一層【Prescriptive/處方】作法，代表虛擬世界除了診斷及預測實體物件外，更應提供適當的處方或處置行為，避免局勢惡化，或提供更好的服務。例如行控中心對於即將到來的清明連假，提出適當疏運措施，包含預測，也涵蓋有效的對應方案，可謂數位雙生系統的終極目標。

而 XR 一般可定義成：應用 VR/AR/MR 技術，包含穿戴式設備，整合成的虛實環境，讓使用者進行更具體驗感的人機互動(Goode 2019; Dent 2022; Wiki 2022)。當 XR 技術應用至上述數位雙生的作法框架，本研究認為，XR 可扮演虛擬世界運算或推論結果的演示媒介，讓使用者透過此 XR 系統，更是體驗即將發生的情境與電腦建議的解決之道，或可協助使用者在面對真實世界情況下，得以有適切的反應措施。此即為本研究的技術願景目標。

應用 BIM 與 XR 雙系統於此研究上有其必要性。傳統 VR 系統著重虛擬世界的建構與使用者體驗，傳統 AR 系統則著重使用者當下的定位，及如何在真實世界影像中，擴增出適當的虛擬物件，讓使用者有更高的感知力，MR 與 XR 雖未有明確市場定位產品與殺手級應用，但在營建產業，均必須面對 BIM 已為當今建築物最完整精確的 3D 模型，與教育或遊戲產業所使用之 3D 模型仍為虛幻場景，較難在真實世界有所對應並不相同。本研究以建築物火災為示範應用場景，嘗試將 BIM 與 XR 雙技術整合後，用以輔助消防救災。緣由其一為火災為建築領域最常見的災害情境，常造成人民生命財產重大損失，值得深度研究，其二為 XR 是現今最前沿技術，相信在未来數年將有更多結合 BIM 的應用，本研究基於防救災眾多文獻與研究團隊過往經驗，透過此計畫，希望能找出最適合的雙技術整合作法，進而日後推廣及應用。

當建築物完工後，其 BIM 模型因記載詳盡的設計與施工階段各式資訊，若無法適當拋轉給建築物營運維護階段使用，數位模型價值可能瞬間喪失。從此角度來看，本研究可謂 BIM 的一種加值應用，旨在建築物設施維護管理階段，一旦發生火災時，可藉由先前建立的 BIM，讓火場演進的預測與救災措施規劃有所本，對於 BIM 與其他元宇宙技術整合亦有示範作用。

傳統的 VR/AR/MR 或 XR 系統，其基底數位模型與真實世界不一定能完整對應，這些系統的使用者充其量僅在虛幻的元宇宙漫遊。但透過本計畫，XR 系統使用者體驗的是真實建築物的虛擬版本，並有火場演進的預測功能，系統亦有救災法的輔助建議能力。於是，本計畫所創建的 XR 系統，或許能帶領國內其他 XR 系統開發商，促使在營建產業的應用具有明確方向。

第三節 研究方法與步驟

本研究可分成：(A)從實體世界傳送資料至虛擬世界；(B)在虛擬世界運算；(C)將電腦推算結果回傳及呈現，等三大部分，各部分主要方法簡述如下：

(A)從實體世界傳送資料至虛擬世界

依研究團隊過往經驗，在此將採 Arduino 建置此類感測器，收集室內環境面數據，並回傳屋內伺服器。此部分開發工作已完成。

(B)在虛擬世界運算

此部分本研究將以深度學習及本體論，為主要應用方法。首先，當環境面數據皆能在伺服器彙整成資料集合，現今 TensorFlow 等開放軟體深度學習工具可用來預測未來趨勢，且只要資料品質不錯，通常預測結果令人滿意。

除了數值資料的預測，一般來說，現今電腦技術亦可協助人類進行規則面推論。由於 BIM 具有大量有用的建築面資訊，例如空間幾何與配置、建築材質資訊等。因消防隊員攜帶的消防破壞工具，對建築材質的不同有完全不一樣的破壞行為，研究團隊已運用本體論，藉此推論各條救援路徑之行走加上破壞的總時間

為何，供現場指揮官參考與指派。另外，在建築物與其 BIM 已知情況下，也將以 FDS 預先計算幾個可能的幾火點及之後的情境，在本研究開發的 BIM-XR 系統資料庫表格中，輸入腳本資料，讓 BIM-XR 可預演，藉此讓消防隊員預先了解可能的未來事件。

(C.1) 將電腦推算結果回傳及呈現：尚未進入火災室內前

此為本研究重點之一，將以 HTC VIVE 來實現。由前述說明可知，電腦運算的各種預測值，勢必具有時空屬性，傳統 BIM 並不擅長管理此類大數據，需要結合空間資料庫(如 PostgreSQL)與 BIM，並加上時間軸。本研究將設計屬於本議題專用的 BIM 式時空資料庫，並發展彙整程式自動化相關流程，讓消防隊員在進入火場前，透過 HTC 頭盔，不但能預覽 3D 室內空間佈局，亦能看到可能的火場變化。

(C.2) 將電腦推算結果回傳及呈現：進入火災室內後，使用諸如微軟 HoloLens

在進入火場後，本研究希望進一步應用 AR/XR 等技術，讓使用者現場也能看到即將發生的情境。根據研究團隊實際開發、測試的結果，若一開始進入 3D 場景有定位歸零，則約 30 坪的房子內部，無論使用者走、跑，甚至跳躍，HoloLens 室內定位的結果，誤差不超過 10 公分，可謂相當準確，也意謂著 HoloLens 為 XR 技術較佳的實踐者，目前研究團隊正全力開發此項技術的應用程式。

●研究採用方法之原因

分述如下：

(A) 從實體世界傳送資料至虛擬世界

此部分考慮主為成本、個人隱私，及資料收集的品質。若採用專屬感測器，其成本較高，Arduino 雖屬開放平台有一定初期成本，但後續增加更多感測器，使之發展成資料傳送的中繼器，不但可提升資料品質，成本也不會增加很多。

在個人隱私保障部分，除了受測單位或人員簽署研究同意書，在資料收集當下，也應立即做去除個人識別碼動作。

(B) 在虛擬世界運算

在此採用深度學習與本體論，均可謂人工智慧的主流技術，兩者所需的軟體程式目前亦屬於開源作法(TensorFlow and Protégé/SWRL)，後續發展與擴充性較佳。

(C) 將電腦推算結果回傳及呈現

此部分涉及 XR 硬體與 BIM 軟體，VR 採用 HTC 主因為國產，且全世界接受度亦佳。AR 採微軟產品乃因目前市場接受度較佳，功能齊備。BIM 使用 Revit 亦是基於同樣原因，但在時空資料庫管理部分，將採開源軟體的 PostgreSQL，為目前公認最佳的免費空間資料庫，且研究團隊具有多年開發經驗。

研究步驟依照建研所本案需求說明、研究團隊服務建議書、歷次工作會議、專家座談會及期中審查會委員的指示，修正本計畫目標為發展數位雙生式建築救災訓練輔助系統，鎖定兩類型使用者，如圖 1-3 所示：場外的指揮官，以 VR 方式看到室內即時救災情況，或查詢全場域感測器資料，或下達指令(用電腦演算法輔助，或專家自行判斷)給第一線消防隊員，考量現場網路狀況，VR 介面直接呈現簡化版的 3D 建物，尺寸準確但擬真度不足，但因指揮官可查詢全場域感測器值，諸如路徑規劃演算法亦可在此執行。

第一線消防隊員以 XR 眼鏡看到實體世界，疊加虛擬物件，虛擬物件可為建築師規劃的逃生路徑、專家給定或演算法推估路線。亦可為感測器值、消防隊員可能破壞門窗、從 BIM 來的建築材質資訊，或是指揮官臨時指派的訓練工作，如尋找受難者、尋找瓦斯或電源總開關進行關閉；消防隊員亦可用 XR 通報現場突然發現的區域安全性，最終促使室內外救災資訊的互通，如圖 1-4 所示。



圖 1-3 本系統兩大大使用者與主要功能

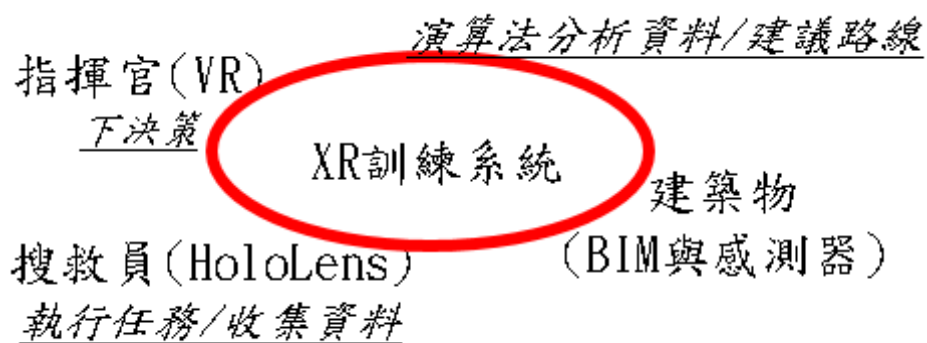


圖 1-4 本系統三大部分與資料流向

第二章 蒐集之資料、文獻分析

本章共分成六節，2.1 節說明基礎理論面的數位雙生技術文獻，2.2 節說明硬體裝置面的穿戴式技術規格與文獻，2.3 節說明本研究採用的嚴肅遊戲開發平台與相關文獻，2.4 節說明過往電腦輔助防災模擬的文獻，2.5 節說明最新 XR 技術相關文獻，最後一節則為文獻評析。

第一節 數位雙生技術文獻

通過先進的數據分析和 IoT 連接，數位雙生處於工業 4.0 革命的最前沿。IoT 增加了可用於製造業，醫療保健和智慧城市環境的數據量。IoT 的豐富環境與數據分析相結合，為預測性維護和故障檢測提供了不可或缺的資源。數位雙生可以通過創建連接的物理和虛擬雙生(數位雙生)來解決 IoT 與數據分析之間無縫集成的挑戰，數位雙生環境允許快速分析和通過準確分析做出的實時決策。

美國國家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)在 2012 年發布了一篇論文，題目為未來 NASA 和美國空軍飛行器的數位雙生範式，為定義數位雙生樹立了重要的里程碑 (NASA, 2012)。NASA 定義數位雙生是對既有車輛或系統的綜合多物理場，多尺度，概率模擬，它使用最佳的可用物理模型，傳感器更新，系統的歷史等來反映其對應的機器雙生的壽命。NASA 提及數位雙生是物理設備或系統的計算機化模型，代表所有功能特徵並與工作元素鏈接，數位雙生實際上是有形資產或系統的生命模型，它基於收集的在線數據和信息，不斷適應業務變化，並可以預測相應有形資產的未來。數位雙生是使用集成的模擬和服務數據對物理項目或裝配體的數位表示，保存了整個產品生命週期中來自多個來源的信息，這些信息會不斷更新並以多種方式可視化，以預測設計和操作環境中的當前和未來狀況，以增強決策能力。

目前，學術界和工業界都沒有將數位雙生與一般的計算模型和模擬區分開來，未來的工作需要對數位雙生做出更明確的定義，釐清資料收集與呈現的部

分，與屬於未來時間點的模擬部分。在本研究，透過 XR 裝置，對於現在與過去的實體世界系統，理想狀況為呈現該系統的所有特徵，讓使用者得以體驗、感知，也能透過重播(replay)的功能，近距離在虛擬世界觀察系統的變化。對於時間軸上的未來，則應透過模擬技術，但如何巧妙地結合在既有的虛擬場景中，設計適當的控制介面，在學術上與實務上，仍深具挑戰。圖 2-1 顯示數位雙生的概念。

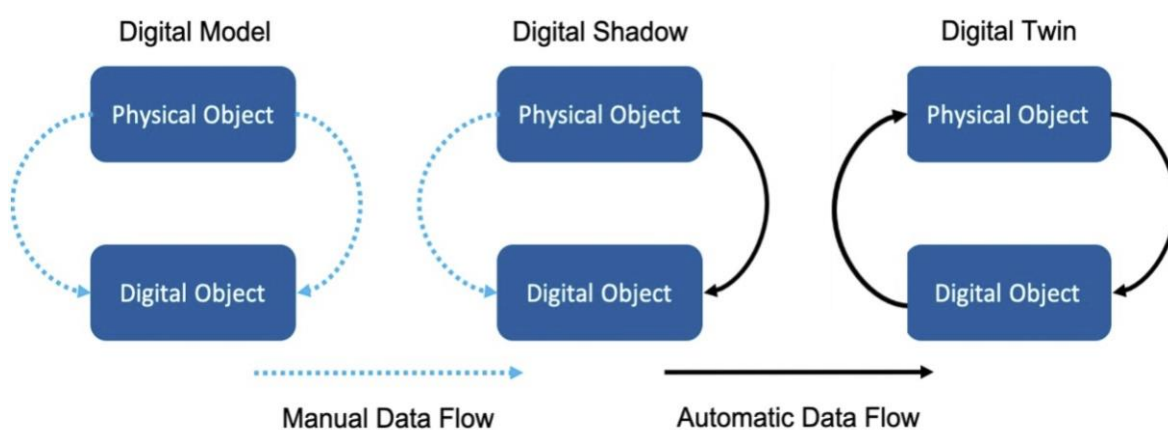


圖 2-1 數位雙生概念

資料來源：(Kritzinger et al., 2018)

以下說明數位雙生的重要組件：

●數位模型

數位模型被描述為預先存在或計劃中的物理對象的數位版本，為了正確定義數位模型，物理模型和數位模型之間不存在自動數據交換。數位模型的示例可以但不限於建築物，產品設計和開發的計劃。重要的定義功能是物理系統和數位模型之間沒有自動交換數據的形式。這意味著一旦創建了數位模型，對物理對象所做的更改就不會對數位模型產生任何影響。

●數位影子

數位陰影是在物理對象和數位對象之間具有單向流動的對象的數位表示。物理對象狀態的變化會導致數位對象的變化，而不是反之。

●數位雙生

如果數據在現有物理對象和數位對象之間流動，並且它們在兩個方向上都完全集成在一起，則這將稱為“數位雙生”。對物理對象的改動會自動導致數位對象的更改，反之亦然。

至於數位雙生的應用，目前數位雙生的概念在整個學術界都在增長，而 IoT 和人工智慧的進步正在使這種增長不斷增加。在此階段，人們關注的主要領域是智能城市和製造業，並發現了一些與醫療保健相關的數位雙生技術應用程序。

通過 IoT 的快速發展，數位雙生在智慧城市中發揮巨大作用的用途和潛力正在逐年增加，隨著智慧城市的發展，社區之間的聯繫越來越緊密，數位雙生的使用也越來越多。不僅如此，我們從嵌入到城市核心服務中的 IoT 傳感器收集的更多數據，也將為旨在創建高級 AI 算法的研究鋪平道路。

智慧城市中的服務和基礎設施具有傳感器並可以通過 IoT 設備進行監視的能力，對於各種面向未來的解決方案都具有巨大的價值，它可用於幫助規劃和發展當前的智慧城市，並有助於其他智慧城市的持續發展。例如，在節能世界中也有益處，這些數據可以很好地了解我們的實用程序是如何分發和使用的。智慧城市的進步是利用數位雙生技術的潛力，它可以通過在虛擬的世界中創建一個可以實現兩個目標的試驗來進行測試，一是測試場景，二是允許數位雙生通過分析所收集數據的變化從環境中學習，收集的數據可用於數據分析和監視，隨著智慧城市的發展增加連通性和可用數據量，數位雙生的範圍變得越來越可行。

第二節 穿戴式技術規格與文獻

VR 可分為沉浸式和非沉浸式，最大的差別在於沉浸式虛擬實境通常要通過頭戴顯示器(Head-Mounted Displays, HMD)或頭部耦合顯示器(Head-Coupled Displays, HCD)來呈現。沉浸式虛擬實境系統，是透過顯示在非常相近的範圍中兩個相同的三維圖像藉由大腦處理成單一圖像來實現；而非沉浸式虛擬實境不需要任何硬體，但擬真性卻遠不如沉浸式虛擬實境。由於人類的感知來自於不同的感官，所以沉浸式設備提供越多的感知，越能有效的提高擬真度(Paes et al.,

2017)，但目前大多數文獻的研究皆專注於單一感知層，其中又以視覺層為最主要的研究對象。表 2-1 列出市面上常見的 VR 裝置與規格。

表 2-1 市面上常見的 VR 裝置

產品	Sony PlayStation VR	HTC Vive	Oculus Rift	Google Daydream View	Samsung Gear VR
連接	HDMI、 USB 2.0	HDMI、 USB3.0	USB 3.0	None	USB 2.0 USB 3.0
解析度	960x1080 (單眼)	1080x1200 (單眼)	1080x1200 (單眼)	依據手機	依據手機
更新頻 率(赫 茲)	120	90	90	60	依據手機
視角 (度)	100	110	110	未標明	101
傳感器	動作、 外部視覺 定位	動作、 相機、 外部動作追 蹤	動作、 外部視覺 定位	動作	動作
硬體平 台	PlayStation 4	電腦	電腦	Google Daydream	Samsung Gear VR
軟體平 台	PlayStation 4	Steam VR	Oculus	Android	Android

資料來源：本研究整理

在沉浸式虛擬實境中最常見的裝置為頭戴式顯示器，但頭戴式顯示器有許多選擇，而硬體設備影響視覺擬真度的主要因素為解析度和更新頻率，本研究考慮

到實用性和未來研究延展性，選擇了 HTC Vive，因 Sony PlayStation VR 僅適用於 PlayStation 4，而 HTC Vive 相較於 Oculus Rift，不僅追蹤範圍大，且亦較為靈敏。

VR 在建築上的應用不勝枚舉，因此有廠商會提供建模軟體的插件，讓使用者可以快速的將建好的模型在 VR 裝置上呈現，例如：AMC Bridge 開發一 Revit 插件 Walk-Through-3DTM for Autodesk Revit，此插件是利用 Unity 遊戲引擎開發而成，可支援 Intel RealSense™ 和 HTC Vive virtual reality，但此插件僅提供 VR 在視覺感知上的呈現。

第三節 嚴肅遊戲開發平台與相關文獻

現在市面上有許多的 3D 遊戲引擎，像是 Unity、Cryengine、Unreal、S2Engine 它們有各自的開發語言與適用對象，經過比較後，考量到它們的價格和教學資源的豐富程度以及討論度，本研究使用了 Unity 來作為開發工具。

Unity 3D 遊戲引擎是 Unity Technologies 公司從 2001 年開發，Unity 1.0 在 2005 年發行，當時只支援 Mac OS 平臺開發；Unity 2.0 在 2007 年發行，Unity 2.0 可以讓開發者在 Mac 上開發並且在 iPhone 運行；Unity 2.5 在 2009 年發行且可以在 Windows 上開發；Unity 3.0 2010 發行並支援輸出於 Android 平臺；Unity 4.0 於 2012 年發表，可在 Linux 平臺上使用；Unity 5.0 在 2015 年發行，開始支援 WebGL，且為 64-bit 版本可以開發更大的專案，並在同年 4 月宣佈支援任天堂 3DS 作為引擎執行平台。

開發使用者可以在 Unity 官網下載到免費的版本，另外也可以付費專業的版本或者其他第三方的 Plug-ins，Unity 比較起其他的遊戲引擎來說，畫面表現較差，但在成本還是操作習慣來說，對於個人以及小團隊開發是最適合的，包含支援聲音、動畫、2D、3D、版本控制。

Unity 引擎幾乎支援所有的檔案類型，舉凡圖片、聲音、影片、文字字形、

以及 3D 檔案格式：FBX。FBX 檔案格式廣泛運用在 3D 相關軟體上，最大的用途是在這些軟體間進行模型、材質、相關訊息的傳遞。

最重要的是，Unity 製作出來的成品可支援多平台的運行，在這資訊爆炸的時代已經不是開發到電腦上執行那麼簡單了，多平台必定是未來的趨勢。所以讓一個專案只要開發一次便能在許多不同的平台上執行，可以節省開發成本以及加快開發的效率。

我們可從國外知名評測網站 Slant 中得知，在三維遊戲引擎中，表現較為優異的為 Unreal 遊戲引擎，但在 VR 最佳開發遊戲引擎中，Unity 遊戲引擎名列第一，且由文獻中可得知，Unity 遊戲引擎在官方的商城和網路上有相當多的資源可以引用，所以本研究選用 Unity 遊戲引擎。

第四節 電腦輔助防災模擬文獻

本節將介紹二款分別由法國以及荷蘭所開發之防災兵棋推演與防災策略學習平台，其主要設計與開發目的為直接作為防災演習、兵棋推演以及防災決策訓練之輔助工具。

●MASA SWORD Emergency Preparedness

MASA SWORD 是由法國 MASA Group 所研發之兵棋模擬系統，為一套商業軟體，可為多人連線或個人桌上型電腦使用，其結合人工智慧與地理資訊技術，作為區域模擬演練及危機管理訓練之用，依用途區分為三項產品，分別為 Defense 軍事演習模擬系統、Healthcare 緊急醫療應變模擬系統與 Emergency Preparedness 緊急事故應變模擬系統(MASA, 2016a)。

MASA SWORD Emergency Preparedness 為一套提供災害決策者或指揮官進行危機處理訓練、驗證危機處理程序和測試跨單位間的協調能力所開發之兵棋模擬系統，作為危機處理與緊急應變訓練模擬之用，其功能包含規劃危機模擬事件想定、演練程序擬定與危機處理對策分析，系統操作介面如圖 2-2 所示。MASA

SWORD Emergency Preparedness 可藉由系統預設的演習狀況想定或使用使用者自訂之災害模擬事件進行電腦兵棋推演，演習項目可包含核生化事件、恐怖攻擊、自然災害(洪水、野火、地震、海嘯)、大規模疏散避難等模擬事件，並透過地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)技術視覺化呈現整體情報與災害影響範圍，系統將依參訓者的指令自動化動態模擬緊急應變程序並與災害、環境(人口行為模式)產生互動，完成災害防救兵棋演習訓練，目前已成功協助巴黎消防總隊進行大規模洪水災害之防救演習(MASA, 2016b)。

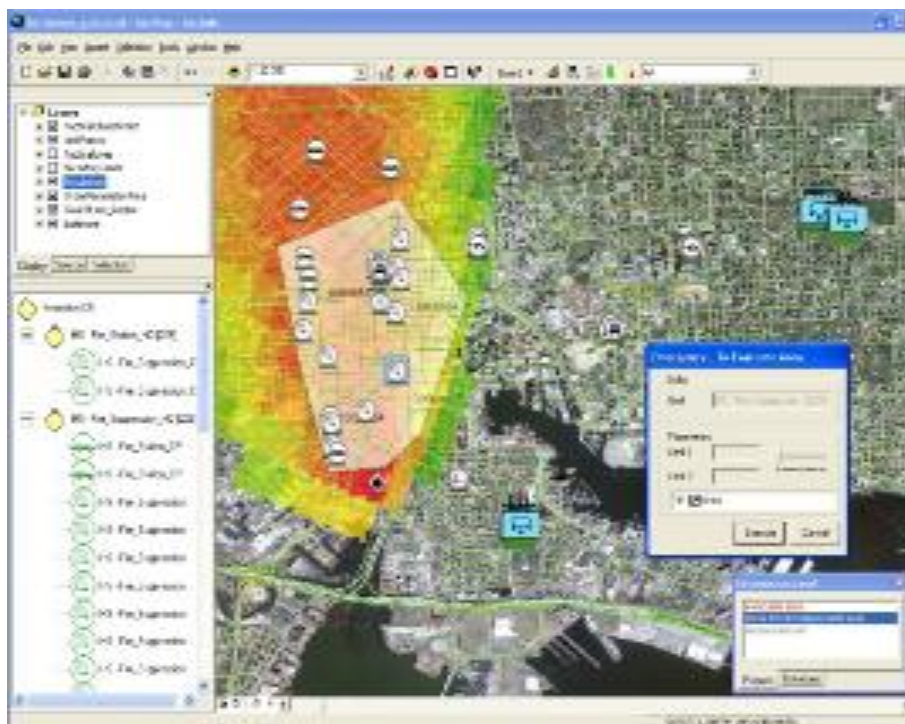


圖 2-2 MASA SWORD Emergency Preparedness 系統操作介面

資料來源：(MASA, 2016b)

MASA SWORD Emergency Preparedness 最大的優點即在於利用先進之人工智慧技術，模擬參訓人員、單位執行各項救災應變程序，除可測試相關防救災計畫的可行性之外，亦能提升參訓人員熟悉其任務職掌而增進救災效能。然而，以做為災害防救兵棋推演平台而言，其缺點為演練之災害狀況或事件係採系統依歷史事件作為預設，或需系統管理者自行繪製災害影響範圍與輸入災害損失，因此，仍無法確保演練狀況的合理性。除此之外，其以 2D GIS 系統作為呈現平台，

目前仍尚未考慮 3D 災害境況的演練需求。

●TYGRON Serious Game

TYGRON Serious Game 為 2010 年由荷蘭 TYGRON 公司針對都市規劃所開發之模擬治水策略評估遊戲，其在於模擬一個複雜的治水決策過程，基於簡化的決策條件選項下進行成果評估計算，遊戲中提供玩家在對應的範圍內選擇對策方案，並藉由遊戲模擬結果展現，讓玩家學習與體驗決策所可能帶來的成果與後果，即是以遊戲的方式呈現戰略推演的簡化結果，作為專業領域學習之用。TYGRON-Serious Game 類似電腦遊戲—模擬城市，圖 2-3 為系統操作介面，玩家可在由地理資訊系統及城市相關資訊所建構之 3D 遊戲場景中進行都市規劃設計與土地利用，但是在新的都市建設與土地開發過程中，系統將產生開發所引致之淹水狀況，玩家必須透過遊戲介面進行治水策略的選擇，隨著遊戲進行，玩家可學習、瞭解每一種決策可能帶來淹水防治的結果與所需投入成本，作為不同領域之玩家瞭解淹水決策的入門輔助工具(TYGRON, 2010)。



圖 2-3 TYGRON Serious Game 系統操作介面

資料來源：(TYGRON, 2010)

TYGRON-Serious Game 以 3D 虛擬場景呈現都市與災害樣貌，可使玩家有較佳之視覺感受，並且透過各種決策指令，可以學習防災策略的影響與功效，然

而其設計功能傾向於減災規劃管理，並且僅呈現災害經濟損失，並無人員傷亡、設施毀損等模擬救災演練所需資訊，對於應用於救災應變演練仍有功能需求之差距。

第五節 最新 XR 技術相關文獻

●XR 與 XR 結合 BIM

延伸實境結合了實境、虛擬環境以及人機互動設備，用電腦和可穿戴的設備來計算，可成為現在或未來的空間計算技術。此沉浸式技術總共包含三種類型，分別是虛擬實境、擴增實境、混合實境。

相較來說，虛擬實境讓用戶沉浸在脫離現實世界的環境中，擴增實境使內容能夠疊加於現實世界上，而混合實境促進了內容與現實世界互動，延伸實境則是指由計算機技術和可穿戴設備間產生真實和虛擬結合的環境和人機互動 (Alizadehsalehia et al., 2020)，比較如圖 2-4 所示，XR 可為綜合 VR、AR 與 MR 所有功能。

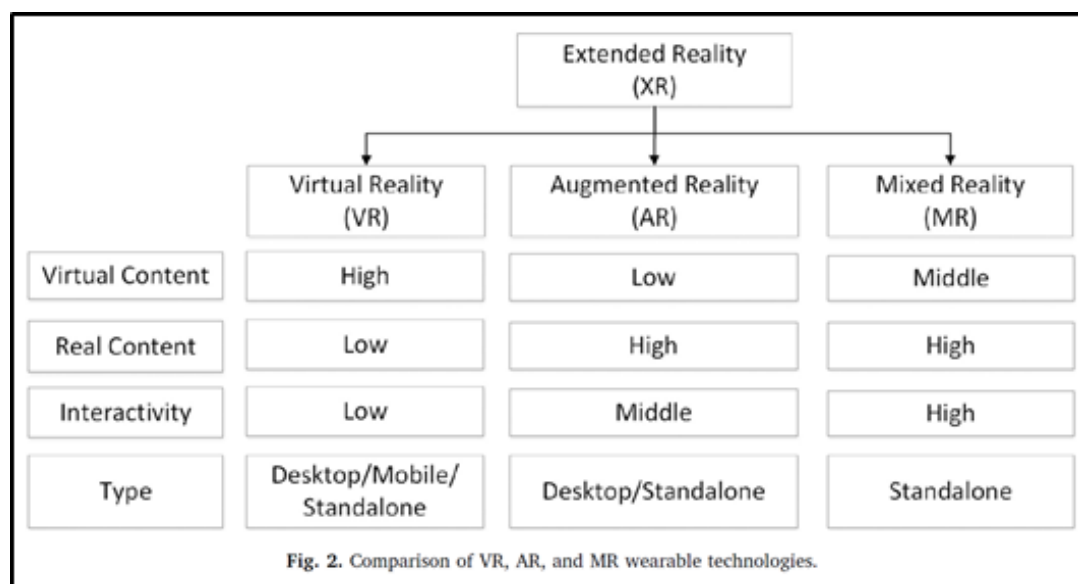


圖 2-4 VR、AR、MR 穿戴技術比較

資料來源：(Alizadehsalehia et al., 2020)

如圖 2-5 所示，Wu et al. (2021)的文獻提供了 BIM-XR 的框架，該框架包含客戶端和服務端兩部分。此文獻指出 BIM-XR 大量的應用程序是由跨平台遊戲開發的 Unity 等引擎所開發，Unity 被證明在開發離線 XR 應用程序和在線 XR 應用程序方面非常強大。開發的應用程序可以借助 Unity 與 BIM 交換數據，例如 Autodesk Revit 和 Autodesk Navisworks。

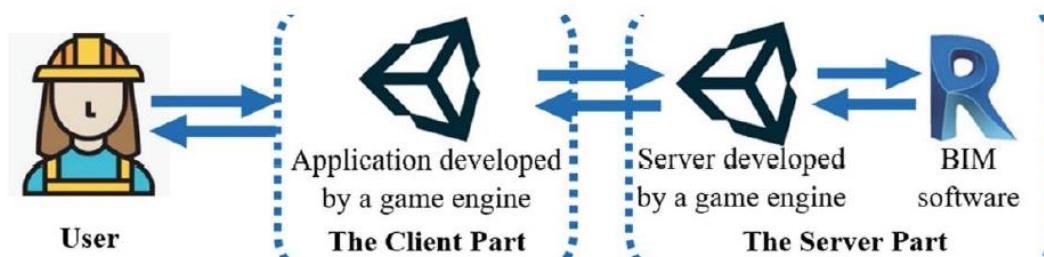


圖 2-5 BIM-XR 系統應用框架

資料來源：(Wu et al., 2021)

Alizadehsalehia 等人繪製了 BIM-XR 的工具集工作流程，流程建議在使用 BIM 平台創建設計後，使用 Unity 或 Unreal 等遊戲引擎軟體產品重新分配材質、照明、反應器和數據參數，在創建 XR 就緒模型並將其上傳到雲端後，可以更改設計。由於通過無線 VR 或 MR 耳機使用雲端應用程序，文件大小限制和日光亮度(如：Microsoft HoloLens)通常會阻礙遊戲引擎技術在設計和建構過程中的應用。可透過 Bentley Synchro 其中一個 Revit 插件，在 4D 模擬中顯示 BIM 元素，並使用 P6 等輸入施工進度。此插件讓用戶能夠通過 Microsoft HoloLens 在工地的任務區域查看施工順序，如圖 2-6 所示。

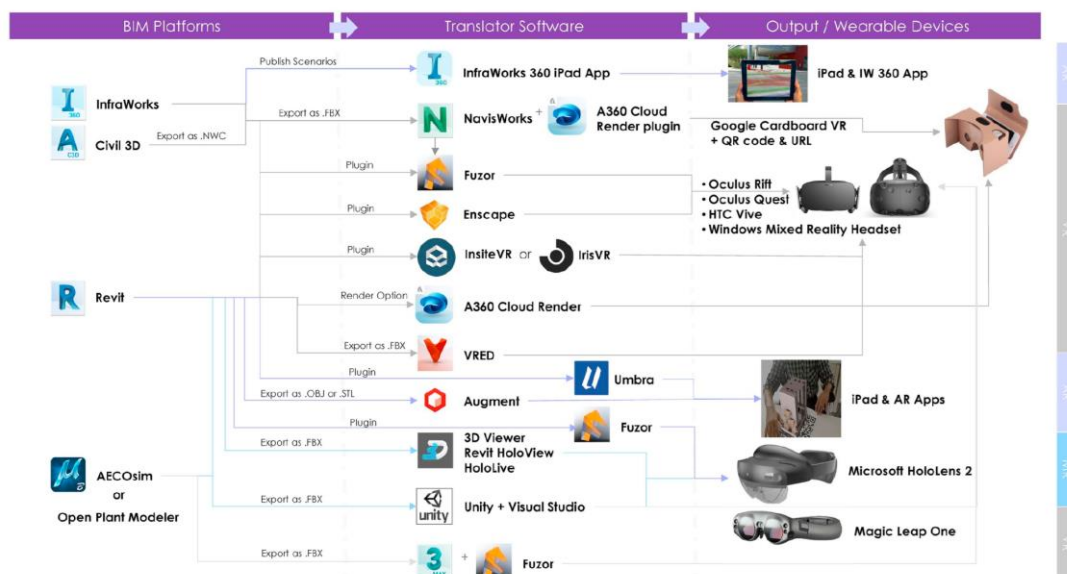


圖 2-6 BIM-XR 工作流程

資料來源：(Alizadehsalehia et al., 2020)

●BIM 結合 XR 用於營建產業之國外案例

目前 BIM 廣泛的被利用於營建產業，因其大幅改善了規劃設計、施工和管理上的作業流程，降低了負擔成本，被視為是一項重要的新領域。將 BIM 模型導入裝置，並結合 XR 等空間定位技術，可以提供更好的流程規劃給設計、施工、營運管理等各階段作業。又隨著 XR、雲端系統、機器學習、人工智慧和認知計算技術的不斷進步，5G 無線技術的進步能提供 XR 更多新穎的解決方案，通過多模式信息的輸入達到遠端和同地的互動協作(Alizadehsalehia et al., 2020)，如圖 2-7 所示。

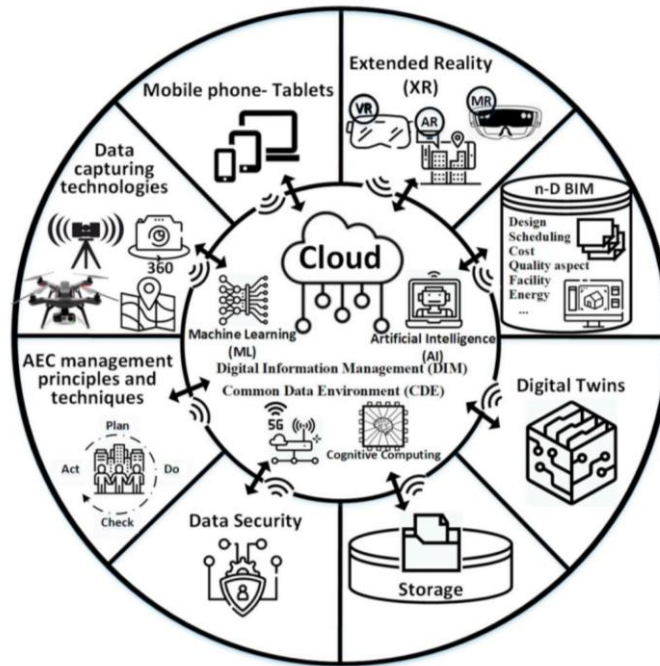


圖 2-7 BIM-XR 在營建產業的應用

資料來源：(Alizadehsalehia et al., 2020)

Wu et al. (2021)也提到，BIM-XR 可以從 BIM 中提取信息和任務並透過多媒體裝置進行建設和維護過程的說明及演示，視覺化可以使工作人員更有效地審查和精進設計，在 VR 場景中不需要創建真實比例的物理模型，即可提供類似現實世界的沉浸式體驗。MR 可以讓沒有維護經驗的使用者識別建築組件的可維護性 (Khalek et al., 2019)，模型中的信息可以透過 AR 在即時現場圖像中顯現，以反映實際現場情況(Kim et al., 2019)，如圖 2-8 所示。

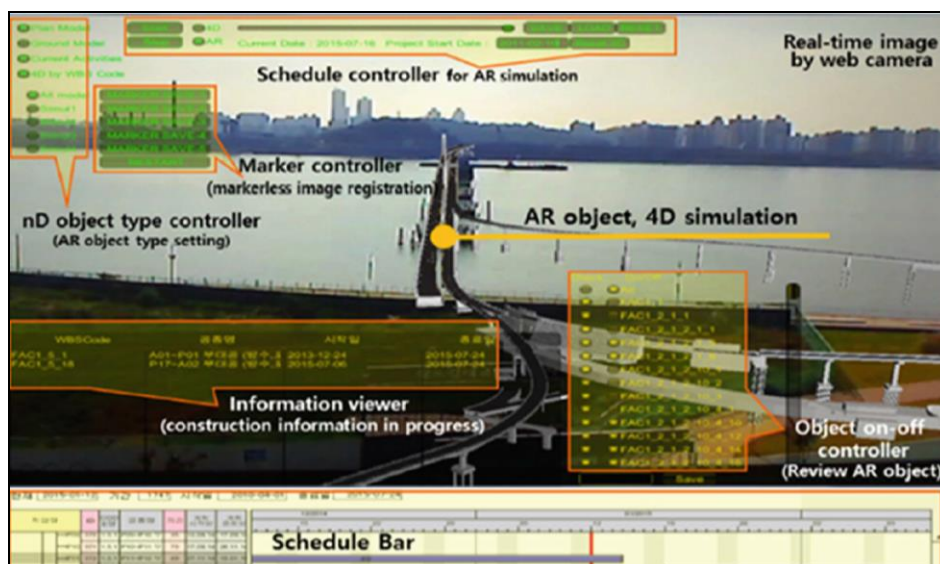


圖 2-8 AR 可視化施工現場信息

資料來源：(Kim et al., 2019)

Alizadehsalehia et al. (2020) 提供了 BIM-XR 的 IDEF-0 模型以及其實際施作於 NASA-Mars 棲息地計畫的工作流程圖。此計畫提供科學家及工程師在其設計位於火星的棲息地上，模擬行走路線和評估的方法，如圖 2-9 所示。IDEF0 為一種用於描述製造功能的功能建模方法，此框架說明了創建 3D 或 4D 模型的所有階段以及模型在 XR 中用於 AEC 產業的不同目的。框架包括五個重點：建立設計模型(A01)、建立時間表(A02)、建立一個 XR 模型(A03)、將 XR 模型導入 XR 設備(A04)、進入 XR 環境(A05)。

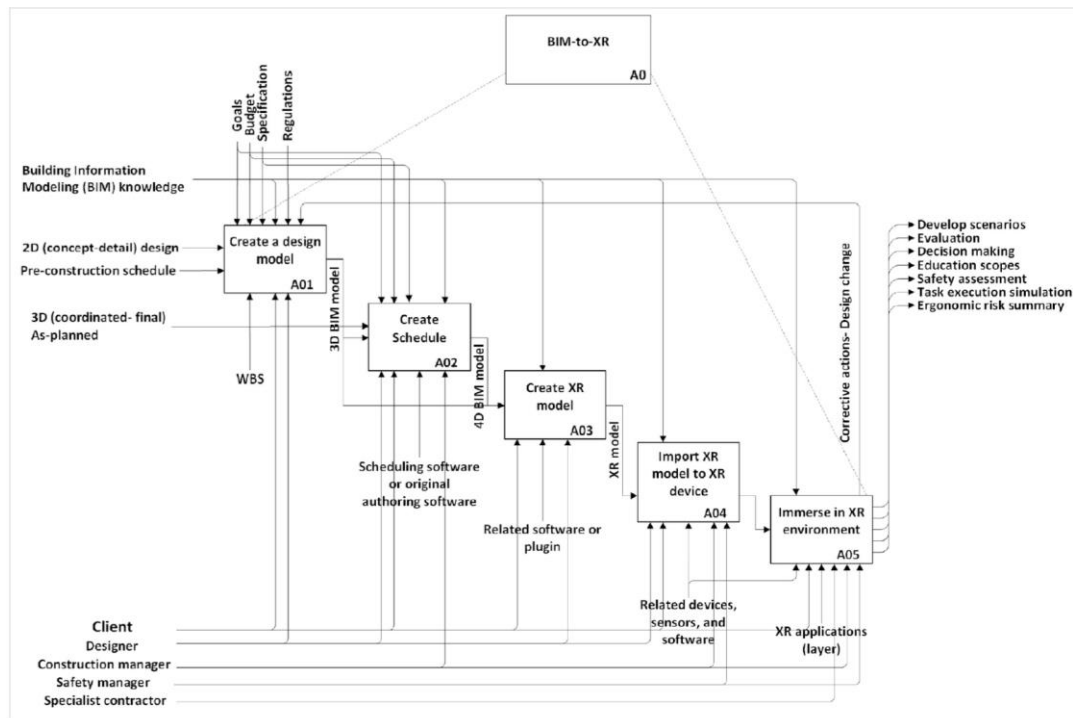


圖 2-9 XR 結合 BIM 在營建產業的導入步驟

資料來源：(Alizadehsalehia et al., 2020)

運用 Revit 2019 中的 Fuzor 插件，將 BIM 模型轉換為 VR 模型，使用的穿戴式裝置為 Oculus Rift、HTC Vive 和三星 HMD，同樣利用 Fuzor 插件，將 BIM 模型轉為 MR 模型，並儲存在雲端，使穿戴式裝置 Microsoft 3D Viewer、HoloLive、HoloView 等可以從任何有網際網路的地方訪問，如圖 2-10 與圖 2-11 所示，分別為 BIM-VR 及 BIM-MR 的工作流程之應用示意圖。

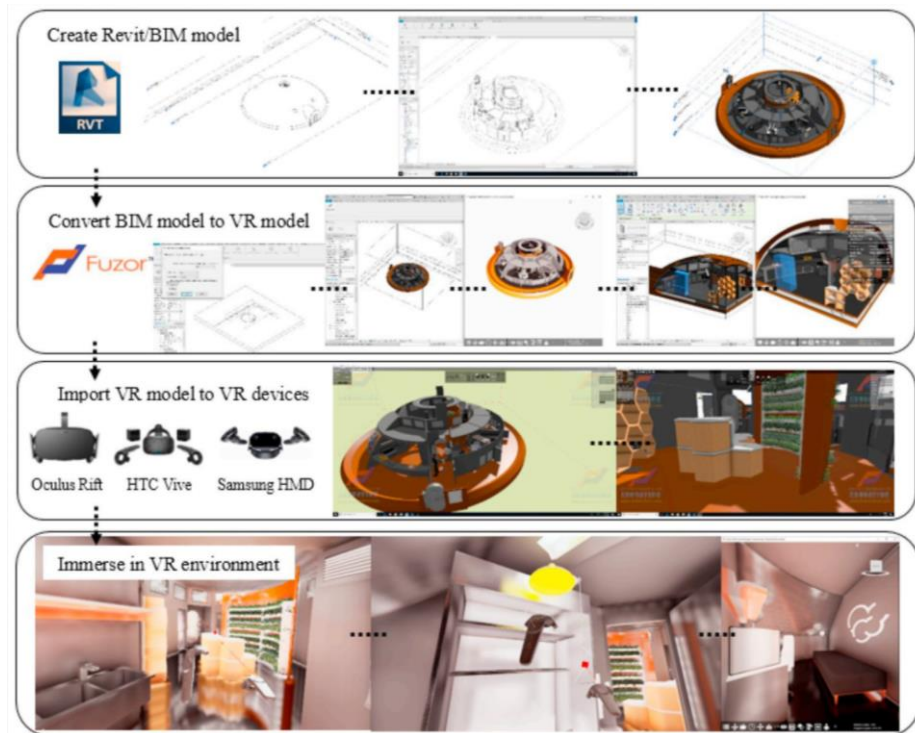


圖 2-10 BIM-VR 的工作流程

資料來源：(Alizadehsalehia et al., 2020)

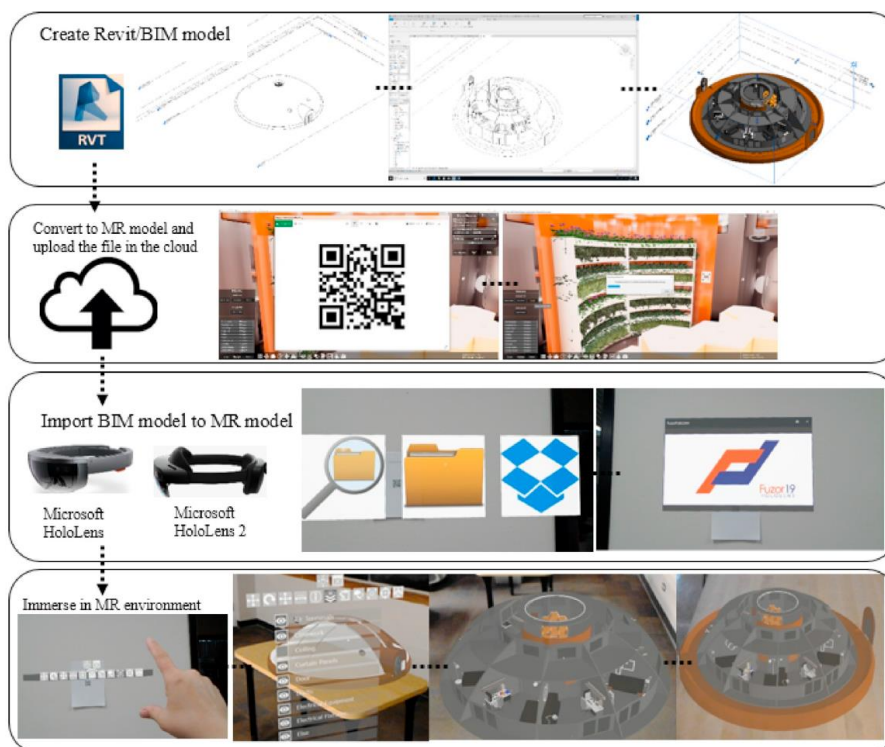


圖 2-11 BIM-MR 的工作流程

資料來源：(Alizadehsalehia et al., 2020)

●BIM 結合 XR 用於國內營建產業

目前臺北市政府都市發展局有一推動專案「應用延展實境(XR)結合 BIM 模型於社會住宅之情境感知設施維護管理系統解決方案實證計畫」。此計畫預期以南港區東明社會住宅為例，透過 BIM-based 設施維護管理作業流程及設施維護管理之資訊需求解析，建構以 XR 及 BIM 為基礎之情境感知設施維護管理模式。也預期建置建築物既有物體做為辨識標記(XR Marker)之 XR 系統，並藉助於建築物內指標性的標誌或燈號，如各項逃生標誌或指示燈等，建立室內戶外導航機制，協助維修工作人員能快速準確找到需要維護或修護的設施，示意如圖 2-12。



圖 2-12 臺北市政府都市發展局實證架構圖

資料來源：(宇萌數位科技, 2022)

●Microsoft HoloLens 用於營建產業

Microsoft HoloLens 於 2016 年問世以來便出現在各種行業的應用，主要用於醫療、保健和工程領域，工程領域尤其屬工業工程和建築土木工程為最大宗，示意如圖 2-13 (Park et al.,2021)。

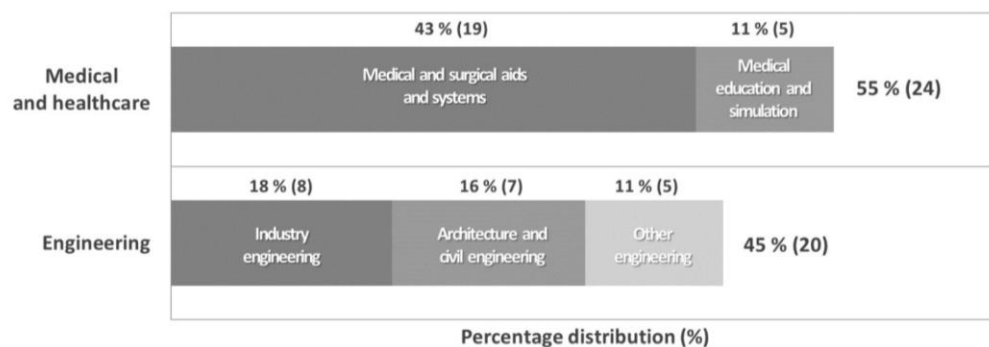


圖 2-13 HoloLens 在醫療保健和工程領域的應用

資料來源：(Park et al., 2021)

Bahri et al. (2019)基於 Microsoft HoloLens 設備的 MR 技術，為空間映射操作建立了一個 BIM 系統，使家具如電視、沙發、桌子等，與真實環境互動。建立步驟先應用空間映射的步驟來掃描所有建築物，將其用於 BIM 系統，並使用 Microsoft 的 HoloToolkit Library 對其進行大小調整和旋轉。使用者會先帶著 HoloLens 四處走動並讓感測器檢測表面，通過即時更新方法將表面資訊傳遞給應用程序，過程中會不斷添加、更新或刪除一些資訊。此文獻使用 HoloLens 1、Unity 2018.3.14 建構表面資訊和 Microsoft Visual Studio 2017 部署空間映射項目。隨後在 Unity 項目中添加家具項目，使 BIM 系統中可以使用這些項目，且確保新項目可與物理環境資訊交互，使其可移動、可調整大小和旋轉，如圖 2-14 所示。

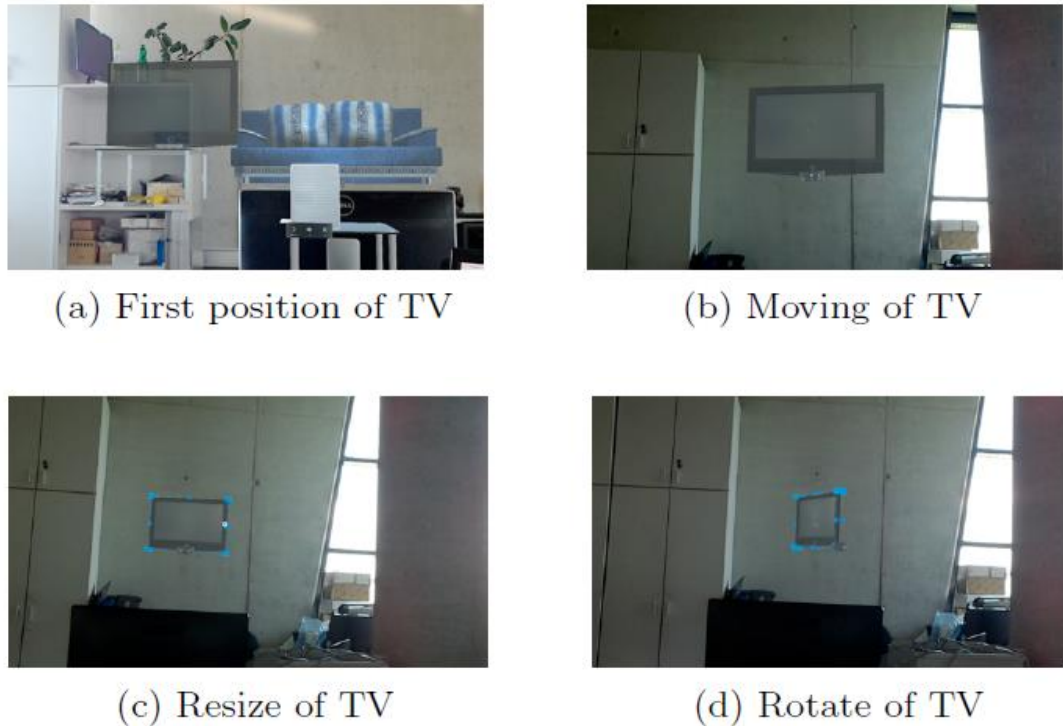


圖 2-14 操作手勢控制模擬畫面

資料來源：(Bahri et al., 2019)

Wu et al. (2020) 提出了一種基於 MR 的新型路徑規劃交互系統，由 HoloLens 的佩戴者使用它向計算電腦發送命令並接收圖像，計算電腦收到指令後結合相應的路徑規劃算法生成最優路徑，然後發送由 MR 交互系統來控制移動機器人，將虛擬障礙物添加到機器運動的地圖中或進行路徑規劃修改。利用 Unity3D 結合 HoloToolkit，面板可以顯示地圖和移動的軌跡，按鈕可以與移動機器人的運動進行互動，並通過手勢交互設置目標點和障礙物的位置。在 Unity3D 中的 Visual Studio 中建構項目，並使用 Visual Studio 通過 USB 將項目部署到 HoloLens。HoloLens 既可以通過鏡頭看到機器人真實的運動場景，也可以只通過手勢操作投影出來的虛擬面板，如圖 2-15 所示。

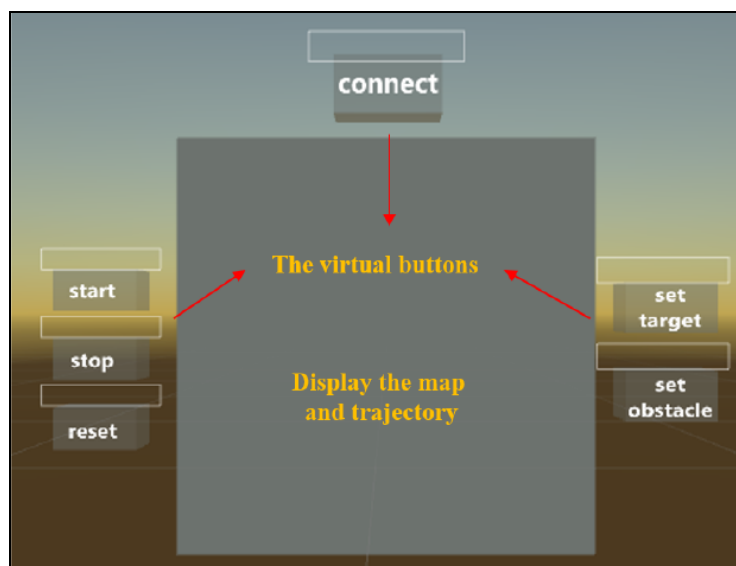


圖 2-15 操作手勢控制模擬畫面

資料來源：(Wu et al., 2020)

當移動機器人移動到某個位置時，通過 HoloLens 的手勢控制在地圖上添加兩個虛擬障礙物。隨後路徑規劃算法將這兩個虛擬障礙物考慮在內，重新規劃路徑。如圖 2-16(a)，代表 HoloLens 中添加虛擬障礙物前的場景；如圖 2-16(b)，代表 HoloLens 中添加虛擬障礙物後的場景。



圖 2-16 手勢操控下的平面示意圖

資料來源：(Wu et al., 2020)

第六節 火場 IOT 感測器文獻回顧

火場內濃煙的溫度大約 200°C 至 400°C，一般木造建築物的火場溫度均在 800°C 以上，鋼筋混凝土結構之密閉建築物更在 1200°C 以上，因此火場內的監測儀器勢必要能抵擋高溫。Sarwar 等人建議，火場環境變化快速，監測儀器常因誤報導致負面效果的狀況，所以需要一種成本較低且可以提早偵測火災、使用多個感測器、誤報率低且可靠的系統。

Singh 等人將 LM35 溫度感測器用於森林火災警報系統，LM35 是線性溫度感測器，其測量溫度範圍是 -55°C 到 150°C ，靈敏度為 $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ ，意指 0°C 時輸出為 0V ，每升高 1°C ，輸出電壓增加 10mV ，輸出電壓與溫度成正比。

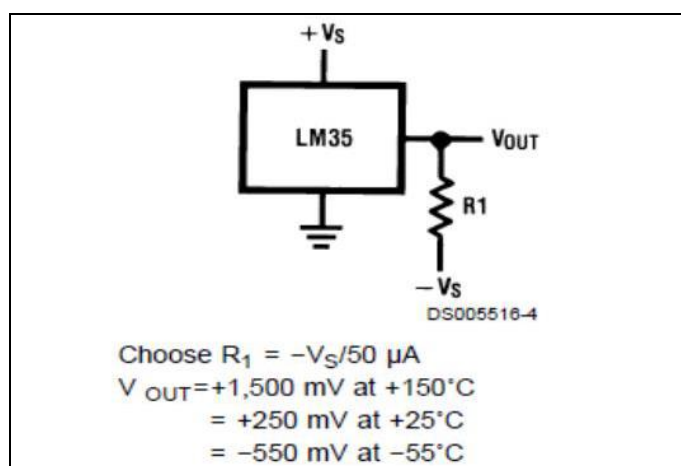


圖 2-17 LM35 示意圖

資料來源：(Singh et al., 2017)

Sowah 等人提出用於的火災探測網路是用於火災即時監測預警系統，偵測煙霧、溫度變化和火焰，若偵測對象狀態發生變化即會啟動預警系統。由四個監控模塊組成，每個監控模塊包含三個感測器：溫度感測器、火焰感測器和煙霧感測器。其中，溫度感測也是採用 LM35 溫度感測器，量測溫度範圍為 -55°C 至 150°C 。

MQ2 煙霧氣體感測器能檢測的氣體包括異丁烷，液化石油氣，甲烷，乙醇，氫氣，煙霧等。

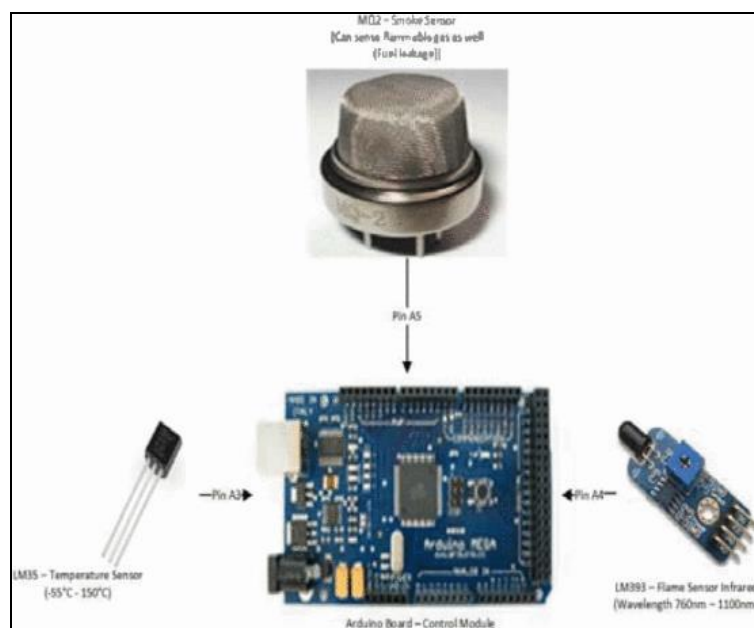


圖 2-18 感測器網路

資料來源：(Sowah et al., 2016)

陳等人於火災探測預警人工智慧技術(內政部建築研究所, 2019)中所使用的溫度感測器主要為測量 0°C 至 300 °C 的溫度變化，如圖。此研究中使用了 PT100 電阻型高溫探頭，利用量測本身之電阻觀察溫度的變化，電阻值和溫度成正比。其探頭可量測溫度範圍為-200°C 至 420°C，並提供 24V 電源，利用電位差異進行測量資訊傳遞，使數據採集更便利。實驗場所使用陶瓷棉隔熱措施將主板供電設備覆蓋，燃燒 11 分鐘後此溫度感測器並未毀損，皆有回報數值。

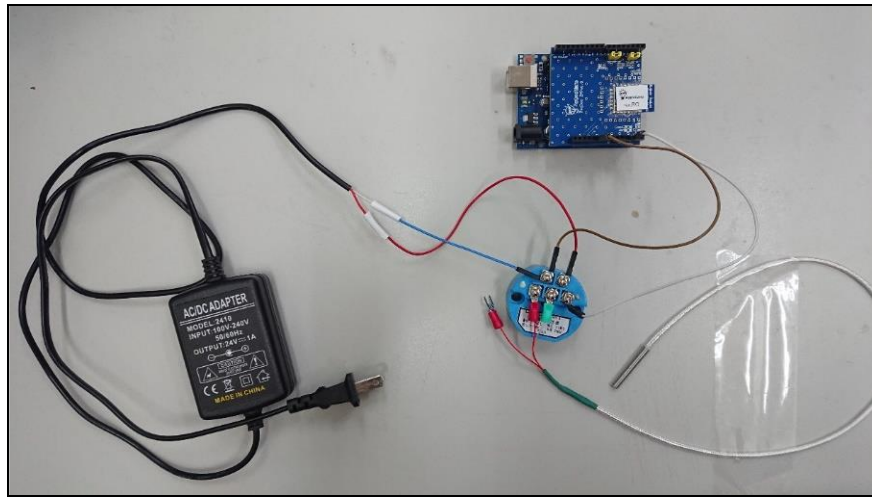
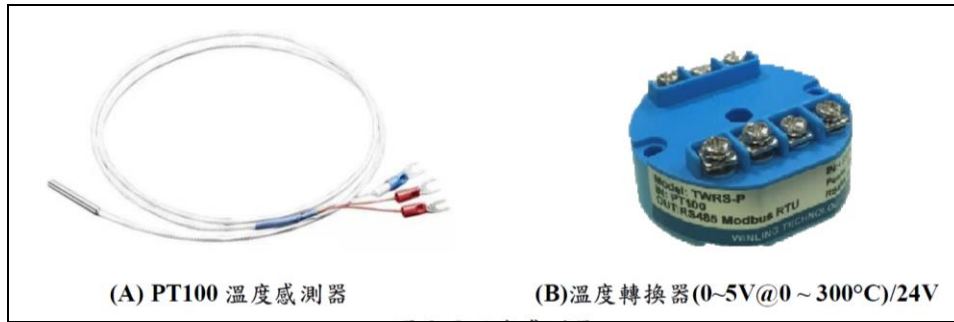


圖 2-19 溫度感測器

另外補充整理出一款可耐高溫之溫度感測器介紹，是由 OMRON 公司所製作 E52 高精度溫度感測器系列。型號 E52-CA12AF 屬於電熱偶感測器，其透過感應電壓的變化量測溫度，可量測範圍為 0°C 至 650°C，若升級線材最高可容許 900 度高溫，售價約為台幣九千元。

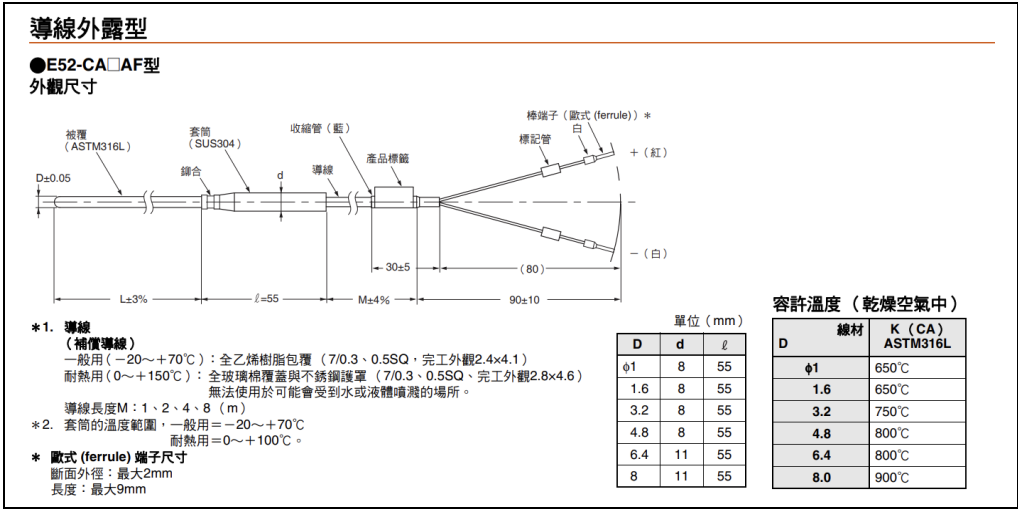


圖 2-20 外觀示意圖

資料來源：(OMRON 技術手冊)

LM35 溫度感測器可以接線直接連接到 Arduino UNO 板上，輕鬆進行環境溫度檢測，是最常見的經濟實用型溫度感測器。PT100 電阻型溫度感測器安裝及連接 Arduino UNO 較複雜於 LM35，但能測量之溫度範圍更勝一籌。電熱偶溫度感測器能量測溫度為其中之最高，價格亦是。

此研究定義感測器功能為輔助消防人員判斷搜救路線的選擇，並非用於監測火場中的詳細數據，佈設精密且耐高溫之感測器雖可行，卻會造成組裝零件繁雜衍生成本提高等問題。若真實發生火災，在火場內之感測器最終有極大可能會被燒毀的情況下，需慎重思考在此提高成本的必要性。參考陳等人(內政部建築研究所, 2019)使用 PT100 感測器加上保護措施，是為解決火場內感測器耐溫問題的好辦法。

第七節 文獻評析

由以上說明可知，數位雙生在建築工程領域屬新穎概念，後勢發展可期。不過，成功的數位雙生系統仍需要成熟的 BIM，雖然 BIM 在先進國家已有具體推動成效，但如何確保 BIM 與在營運維護階段的建築物，保持虛實資料一致，仍屬重大挑戰。

目前建築物的設計或施工階段之 BIM 或數位雙生應用，有較多的文獻。但從建築物生命週期，或居民安全的角度，建築物在營運維護階段之 BIM 應用，特別是消防輔助部分，有較大發展潛力。基於 VR/AR/MR 的 XR 技術，從一開始便需要搭配程式開發工具來客製化應用，本研究著眼之 BIM-XR 系統，亦遵循此客製化的方向，因 BIM 內部有多樣化的資料來源與屬性類型，非傳統 3D 遊戲或 3D 動畫複雜性可比擬，可預期此客製化工作將涉及建築工程本身專業知識、消防救災領域知識，同時需要整合數種資訊技術，如本體論、深度學習等，方能在 BIM-XR 系統預測未來的能力上，有所推進。

第三章 系統架構與設計

本章說明研究至今，較重要的研究發現與成果，共分兩節。第一節說明從 BIM 轉至 XR 發現的問題與解決的作法，第二節說明室內佈署 IoT 常面臨的困境，與本研究提出的解決之道。個別來看，此二問題雖早已有相關文獻探討，然而，若考慮到本研究應用情境：指定某一具有 BIM 模型的建築物，如何方能快速、無誤地轉型建置出對應的 XR 系統，並能串接現場資料？則現今並無面面俱到的作法，值得重新針對本研究特徵，發展專屬且有效率的解法。

第一節 從 BIM 轉型建置 XR 系統作法

本研究假設 VR 使用 HTC Vive 裝置，AR 使用微軟 HoloLens 裝置，兩者的程式開發平台均為 Unity，且程式庫與開發語言均為 C#。XR 系統則依循大部分文獻所說，自行整合 VR 與 AR，透過 Unity 平台發展客製化功能。BIM 部分便沿用現今市場上較普及的 Revit，由此來探討如何從 BIM 轉置 XR 系統。

事實上，Revit 相當於文書編輯時的 WORD 軟體，可用以建立、編輯與查閱建築的各式 3D 資料，但如同 WORD 軟體在列印文件時不如現行 PDF 軟體好用，PDF 軟體最大功能並非編輯文件，而是假設文件已無異動，後續在列印、供人們閱讀時可提供寫注解方式，供主管在審閱文件時可提供批改功能等，PDF 軟體的這些功能無法在 WORD 軟體實踐，此現象，同樣也發生在 Revit 軟體與 Unity 軟體中。在此，Unity 軟體相當於 PDF 軟體，不適合用以建立、編輯建築物的 3D 資料，而適合讓使用者以 VR 或 AR 方式，體驗卻不修改 3D 模型，甚至如本研究將賦予的額外功能，這些工作亦不適合直接外掛在 Revit 軟體之上，最主要原因仍是 Revit 軟體在純瀏覽模式時，其系統效能無法與 Unity 軟體相比。是故，我們需要尋找將 Revit 資料完整轉置 Unity 平台的作法，利用 Unity 平台可在 3D 模型不異動情況下，能提供高互動性、讓使用者以不同裝置，體驗 3D 模型。

在 Unity 平台下，理論上使用者應能看到或體驗到 Revit 的全部 3D 資料，包

含彩現或渲染時的顏色，及當初建築師或營造廠在 BIM 模型共用或自定義的救災相關屬性，例如門的防火時效等。如表 3-1 所示，BIM 的資訊在轉至 XR 系統時，因現行兩系統轉檔功能不完備，常需要客製化處理，否則使用者將看到喪失部分功能或資訊的 3D 模型，失去當初建立 BIM 的意義。

表 3-1 Revit 下各類型資訊在轉置 Unity 時的問題

資訊類型	預期在 Unity 的體驗感	直接轉檔至 Unity 的問題	可能的解決方式
3D 幾何	如同在 Revit 看到一般，應完整無誤	一般可正確轉檔	沿用 Revit/Unity 既有作法
彩現/渲染的資料	如同在 Revit 看到一般，應完整無誤	遺失	透過 MaxScript，如後說明
Revit 已定義的建築材質屬性，如木質門或鋁門	應可查閱	遺失	可用 Revit 提供工具或自行撰寫，將資料轉到資料庫，利用 BIM 元件 ID 來串接
使用者定義的屬性，如防火時效	應可查閱	遺失	自行轉寫工具，將資料轉到資料庫，利用 BIM 元件 ID 來串接

資料來源：本研究整理

現今 Revit 的另存新檔或匯出功能已支援多種 3D 格式，包含 Unity 常見的 *.fbx 格式，但若只接採此功能轉檔 *.rvt 至 *.fbx，如圖 3-1 與圖 3-2 所示，前者為轉檔前，後者為轉檔後，在 Unity 可發現只剩下原物件的 3D 線框式(wireframe)幾何資訊，很讓說服使用者此為原本的 3D 模型。若仔細觀看在 Unity 的 Revit 模型，可發現雖然只剩外框，但點位座標等資訊則屬正確，換言之，3D 物件的表層顏色不見了，此部分需要特殊處理方可正確呈現。

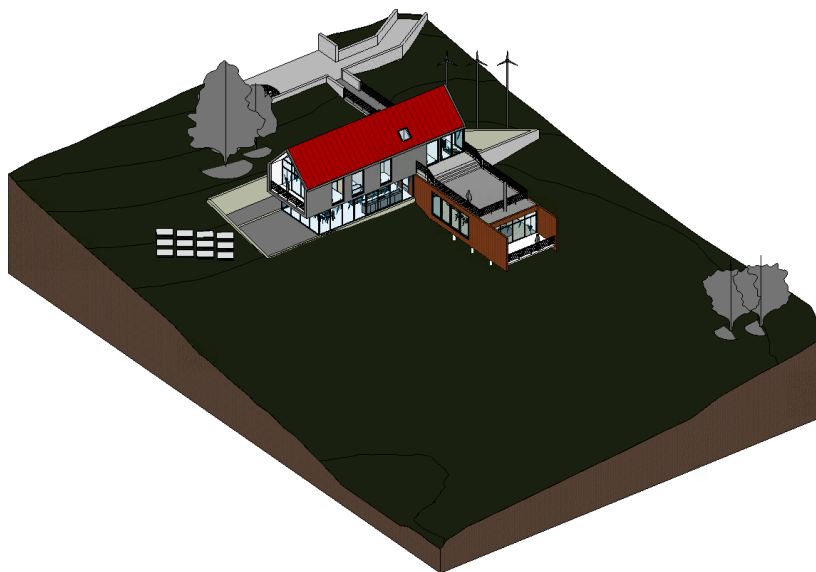


圖 3-1 某棟 Revit 完整房子

資料來源：本研究整理

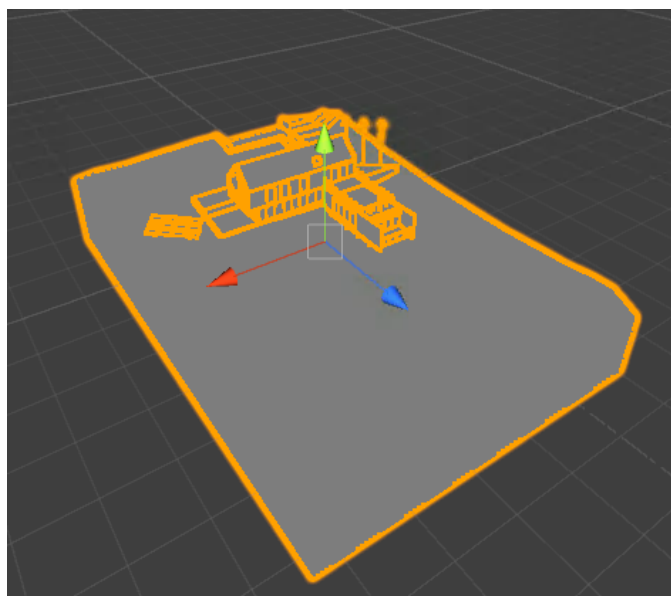


圖 3-2 未經處理在 Unity 下對應的房子

資料來源：本研究整理

如表 3-1 所示，事實上現今許多 BIM 應用，已在 Revit 創建很多客製屬性。Revit 的眾多既有屬性，換到 Unity 的世界也非一無是處。這些資料，均未隨著內建轉檔程式轉至 Unity，若希望在 Unity 世界看到或體驗到這些屬性帶來的效果，必須額外撰寫程式，利用已正確轉至 Unity 的 BIM 元件 ID，來串接轉過來的屬

性值。本研究建議，應利用常見的關聯式資料庫，例如開源且具空間運算能力的 PostgreSQL，來儲存上述 Revit 世界的資料，在 Unity 展現這些 3D 物件時，同時查詢資料庫並帶入屬性應有的效果，讓使用者在 Unity 恢復或體驗更好的 3D 世界。

●Autodesk 3ds Max

前面提到，關於在 Revit 具有的彩現或渲染資料，文獻上已有數種作法，可正確轉至 Unity。在本研究，採用 Autodesk 3ds Max 當中間層，此為 Autodesk 所研發，是全功能的三維計算機圖形軟體，可以運用在電腦遊戲中的動畫及特效製作，本研究之所以選擇 3ds Max 為研究軟體，主要原因如下：

1. 支援 Autodesk Material Library，且可以讀取 Revit 檔案，在幾何資訊和材質資訊方面不會有誤差。
2. 支援 MaxScript 內建腳本控制語言，在 Autodesk Material 轉換成 Universal Material 或 Standard Material 時，較為方便。

為解決 BIM 模型到 Unity 遊戲引擎中材質遺失之問題，本研究在此提出材質轉換機制來解決。此機制以 Revit 開發公司 Autodesk 的 3ds Max 來進行材質轉換，因同為 Autodesk 公司的產品，所以都支援由 Autodesk 公司所提出的 Autodesk Material Library 材質庫，且 3ds Max 軟體提供匯入 Revit 檔案之功能(Link Revit)，而 Unity 遊戲引擎對於 3ds Max 支援性佳，所以此機制利用 3ds Max 為轉換材質之媒介軟體，再利用 3ds Max 內建的腳本控制語言 MaxScript 來進行材質轉換，快速且便利。視覺材質轉換機制之流程圖，如圖 3-3 所示。

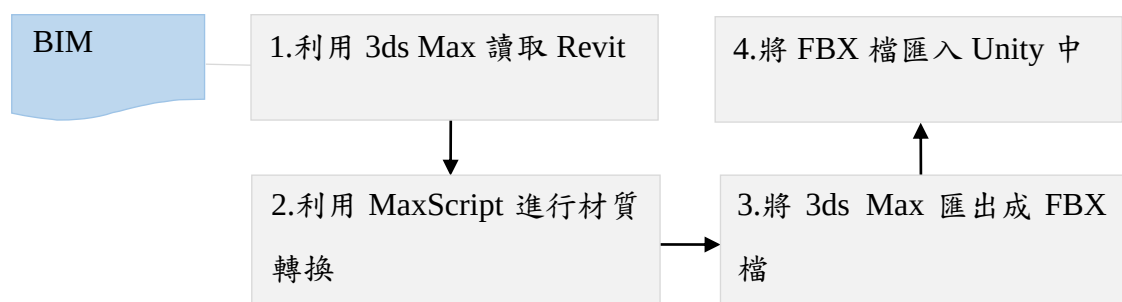


圖 3-3 材質轉換機制流程圖

資料來源：本研究整理

1.利用 3ds Max 讀取 Revit

利用 3ds Max 匯入(Import)功能中之 Revit 鏈接(Revit Link)功能將已完成的 Revit 檔匯入，便會跑出鏈接管理器，在預設(Preset)欄位中提供多種選項，例如：將 Revit 中同樣材質結合(Combine By Revit Material)、將 Revit 中同樣類別結合(Combine By Revit Category)等。在此我們選擇不將物件結合(Do not Combine Entities)，因在後續模型匯入 Unity 中參數化時需要讀取每個物件的識別碼(EntityID)，我們便可以鏈接檔案，在每個物件名稱後的中括號內即是 Revit 中的 Element ID。

2.利用 Maxscript 進行材質轉換

在此步驟中我們利用 3ds Max 中的內建腳本控制語言 MaxScript 程式完成材質之轉換，將 Revit 模型中的 Autodesk Material 轉換成 Unity 遊戲引擎支援的 Standard Material，在 3ds Max 的腳本(Scripting)選項中選擇 MaxScript 監視器(MAXScript Listener)，當在進行材質轉換時若發生某些材質無法轉換時，會在 MAXScript Listener 中顯示，接著再選擇執行腳本(Run Script)將程式讀取後執行即可。當材質轉換後，MAXScript Listener 並無顯示任何材質無法轉換，而材質轉換後之模型並無任何差異。

3.將 3ds Max 匯出成 FBX 檔

此步驟將材質轉換後之模型匯出成 FBX 檔，因 3ds Max 中支援匯出(Export)FBX 檔，在點擊匯出後便會跳出 FBX 匯出視窗(FBX Export)。在現有預設(Current Preset)欄位中，我們選擇 Autodesk 媒體及娛樂(Autodesk Media & Entertainment)，並調整攝影機選項中的攝影機和燈光選項中的燈光為否，因在 Revit 中的視角和燈光在 Unity 遊戲引擎中並不需要，並在進階選項(Advanced Options)中的單位(Units)自動化(Automatic)設為否，且設定為公尺(Meters)，因在 Unity 遊戲引擎中的預設單位為公尺。匯出視窗的詳細設定，便可進行轉檔，轉檔完成後便會跳出警告和錯誤視窗，在此皆為警告，因其內容主要是警告有需幾何資訊的類型(geometry type)將被轉換成可編輯的網格(editable meshes)，但在 Unity 遊戲引擎中支援可編輯化網格，所以並不需要採取進一步的步驟。

4.將 FBX 檔匯入 Unity 中

在此步驟中我們利用 Unity 遊戲引擎匯入 FBX 檔，我們只需要在資源裡匯入新資源(Import New Assets)即可，在匯入設定(Import Settings)中我們可以看見預設圖示為繞著 X 軸翻轉 90 度的狀況，但將資源加入場景(Scene)後，Unity 遊戲引擎會自動翻轉，所以我們並不需要做任何動作，但在匯入設定的模型(Model)選項中的生成碰撞體(Generate Colliders)要設定為是，並執行使用(apply)來完成生成動作，完成後即可把此資源加入場景中。

第二節 室內佈署 IoT 常見問題與解法

數位雙生的一項很重要功能，為在虛擬世界可時時瞭解實體世界正在發生的事情，此功能必須透過物聯網感測器，安裝在建築室內某些地方，將資料帶出，方能在虛擬世界體驗。

事實上，早在 2000 年便有學者研究如何在救災現場快速佈署無線網路，來協助救災資訊的傳遞。時至今日，Wi-Fi 技術已相當成熟，建築室內佈署已非問題，本研究需要的室內實時資訊亦非建築內的各點，建議每房間設置一處，可在現有的火災警報器旁，離電源不遠，同時具有正常的 Wi-Fi 訊號處。

現行建築室內 IoT 面臨最大問題，在於當 IoT 裝置數量較多時，如何協調各個 IoT 上傳資料至雲端或管理中心，為一大挑戰。IoT 端通常計算能力不佳，本地端工作過於複雜，不但可能無法完成，也過於耗電。資料傳輸通常有 push 與 pull 兩方式，push 類似上傳機制，指 IoT 在指定時間，連線至雲端或管理中心，將新收集的資料回報；若採 pull 作法，代表 IoT 將被詢問，被問時才回答最新收集的資料，整體問題如表 3-2：

表 3-2 物聯網 push 與 pull 傳輸比較

傳輸機制	優點	缺點
IoT push 資料至雲端	佈署容易	IoT 將有上傳錯誤處理機制，較複雜也較耗電
雲端 pull IoT 資料	雲端具有錯誤處理能力，IoT 端僅需被動提供指定區間資料	佈署較複雜，因為要設定 Wi-Fi 天線

資料來源：本研究整理

以下說明本研究 pull 式作法：

●Arduino 式監測盒的設計

本研究提出一搭載 Arduino 單晶片之監測盒，如圖 3-4 所示，為顧及安裝及維護的方便性及監測設備的擴展性，提出透過鋰電池儲存感測器所需電能，亦可透過市電充電，利用 Wi-Fi 模組建立無線存取點(Wireless Access Point, WAP)，並於監測盒內設 Web Server 可供管理中心端下載監測數據，在整場控制中心的電腦掃描指定無線網路服務設定識別碼(Service Set Identifier, SSID)，用以擷取監測資料。



圖 3-4 Arduino 監測盒(第一代)

資料來源：本研究繪製

如此設計，在監測數據傳輸部分，考量現場 IoT 眾多，若每個監測盒扮演客戶端，主動上傳給控制中心電腦，則勢必面臨同時上傳資料、網路頻寬有限等現象。本研究採取讓監測盒扮演服務端，由控制中心電腦逐一召喚，透過 SSID 連結，要求各監測盒回傳資料，即便有傳輸問題，監測盒內可安裝便宜 SD 卡儲存暫時資料，等待網路通暢再行傳輸。目前單一監測盒(含各感測器)成本可控制在 1500 元台幣以下，已連續監測 1 月之久，具一定可靠度。

●Arduino 與感測器硬體規劃

本研究以 Arduino 系統架構為基礎，搭配市售及客製化感測器，以提高收集資料的品質，在資料傳輸與備份方面分別以 Wi-Fi 模組及 Micro SD 卡達成，其規格及設計考量，如下：硬體規格如表 3-3 所示，其中在電壓感測模組部份透過客製化方式，將原先模組量測上限 25 伏特之表面貼焊零件(Surface Mount Device, SMD)電阻，改以分壓比例 16 倍，雖電壓解析度因此從 0.0024 伏特變大為 0.0078 伏特，但此解析度變化對監測電壓範圍過小，可謂無影響。

表 3-3 硬體規格表

裝置	詳細資料
Arduino 開發板	Arduino MEGA 2560
Wi-Fi 模組	ESP-07S 晶片，此模組可利用 IPX 轉 SMA 方式外接天線，以達到更好的傳輸距離(考量實際場域無線傳輸量大，必須將天線外接延長)
Micro SD 卡模組	74ABT125PW 晶片，此模組可支援 Micro SD 及 Micro SDHC，最大容量分別為 2GB 及 32GB，建議用市面上購置最便宜卡即可，因暫存 Log 僅文數字、通常不大
時鐘模組	DS3231 晶片，此模組可提供即時時鐘產生秒、分、時、星期、日期、月和年計時，並提供有效期到 2100 年的閏年補償

照度感測模組	BH1750FVI 晶片，此模組經改寫，其感測範圍為 1 ~ 121556 勒克斯(Lux)
溫度感測模組	DS18B20 晶片，感測範圍為-55 ~ 125°C，可防水
電流感測模組	ACS712 晶片，此模組檢測範圍寬 DC $\pm 0 \sim 20A$ 、 檢測解析度為 100mV/A
電壓感測模組	此模組利用串聯分壓後，利用 Arduino MEGA 2560 的 10 bits 類比數位轉換器(Analog-to-Digital Converter, ADC)解析，此模組檢測範圍 DC 0 ~ 80V
鋰電池	採用 2 顆 21700 鋰電池以串聯方式相接，每顆電 池容量為 4000mAh

資料來源：本研究整理

●硬體設計

因應鋰電池供電與充電功能，分別以三部份說明：(1)監測模組：此部分主要控制各感測器與電池充/放電時機，監測模組包含表 3-3 中的電壓、電流、Micro SD 卡、時鐘、照度與溫度，而充/放電時機為繼電器模組所控制；(2)電池充/放電模組：此部分主要控制市電至鋰電池，及 Arduino 開發板之降壓及充/放電，其中電池充/放電部分需經過充/放電路板控制，以此延長鋰電池壽命；(3)輸入/出控制模組：此部分主要控制市電輸入至電池、電壓感測模組、電流感測模組與輸出。

●軟體設計

本研究需要撰寫軟體部分，分別位於 Arduino 內、Wi-Fi 模組內，及控制中心的電腦內，說明如下：

●Arduino 程式

Arduino 程式主要為控制時鐘模組、日照感測模組、溫度感測模組、電流感測模組、電壓感測模組及 Micro SD 卡模組，包含資料讀寫，並控制繼電器，其程式流程圖如圖 3-5 所示。

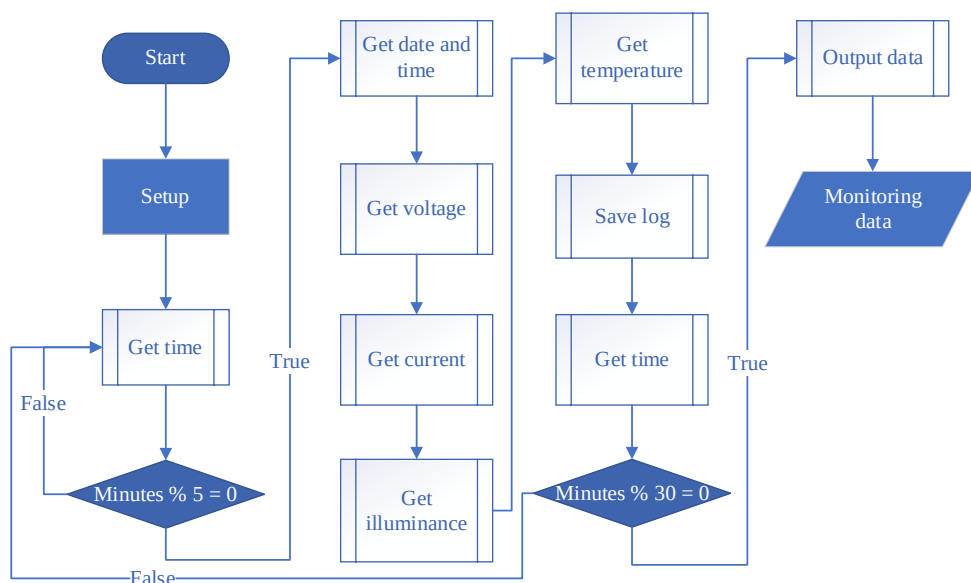


圖 3-5 Arduino 程式流程圖

資料來源：本研究繪製

其中繼電器主要控制電路中電池充/放電時機，監測盒以電流大小為基準，當電流小於 2 安培為充電(此參數可調整)，相反則為放電狀態。

此外，監測盒所使用照度感測模組，其原始預設最大值為 65535 勒克斯，而在台灣中午時刻，光照度最大值可能約 12 萬勒克斯。經參考 BH1750FVI 感測器規格表，利用積體匯流排電路(Inter-Integrated Circuit, I2C)設定其測量精度(Measurement accuracy)為 1.2、測量時間暫存器(Measurement time register, Mtreg)為 31，及測量模式為單次高精度測量，經調整後，測量最大值約為 121556 勒克斯，達到本研究日常照度合理範圍。

$$\text{Illuminance per 1 count (勒克斯/次數)} = 1 / 1.2 * (69 / \text{Mtreg})$$

●Wi-Fi 模組程式

資料傳輸方面採用 Wi-Fi 傳輸，利用 Wi-Fi 模組建立無線存取點，內建網頁伺服器，供外界擷取資料，其程式流程圖如圖 3-6 所示。

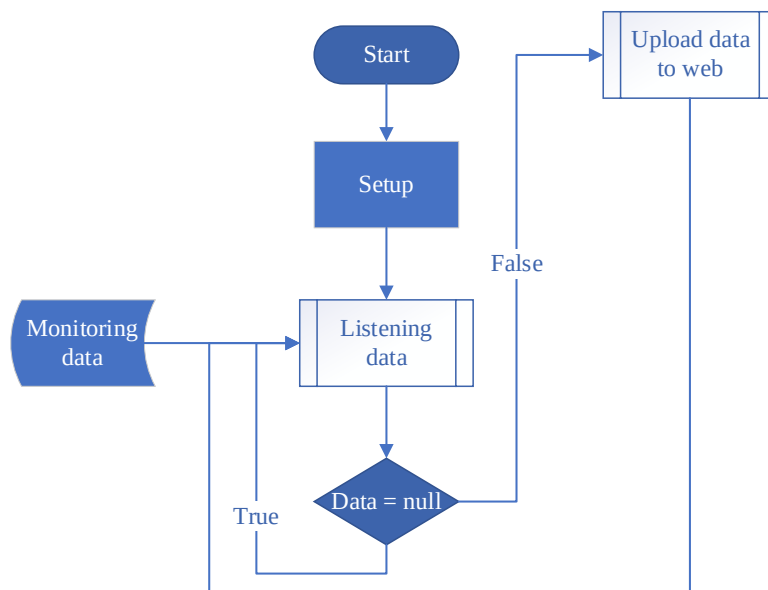


圖 3-6 Wi-Fi 模組程式流程圖

資料來源：本研究繪製

●監測資料蒐集程式

本程式以 Python 撰寫，利用 pywifi 程式庫控制 IPC Wi-Fi 連線，並擷取該 Wi-Fi 網域中的指定網站資料，以達到資料收集功能，其程式流程圖如圖 3-7 所示。

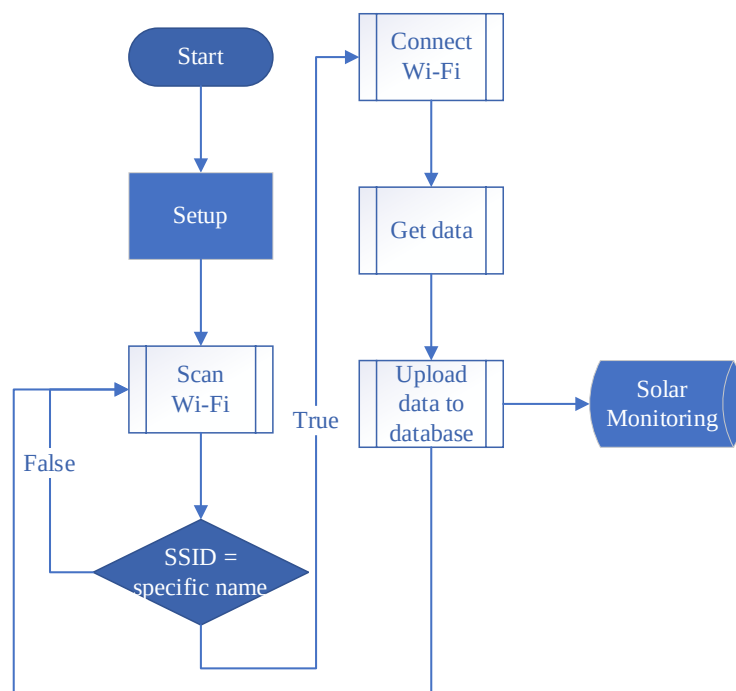


圖 3-7 監測資料蒐集程式流程圖

資料來源：本研究繪製

第四章 系統實作與示範

整體系統流程如圖 4-1 所示：

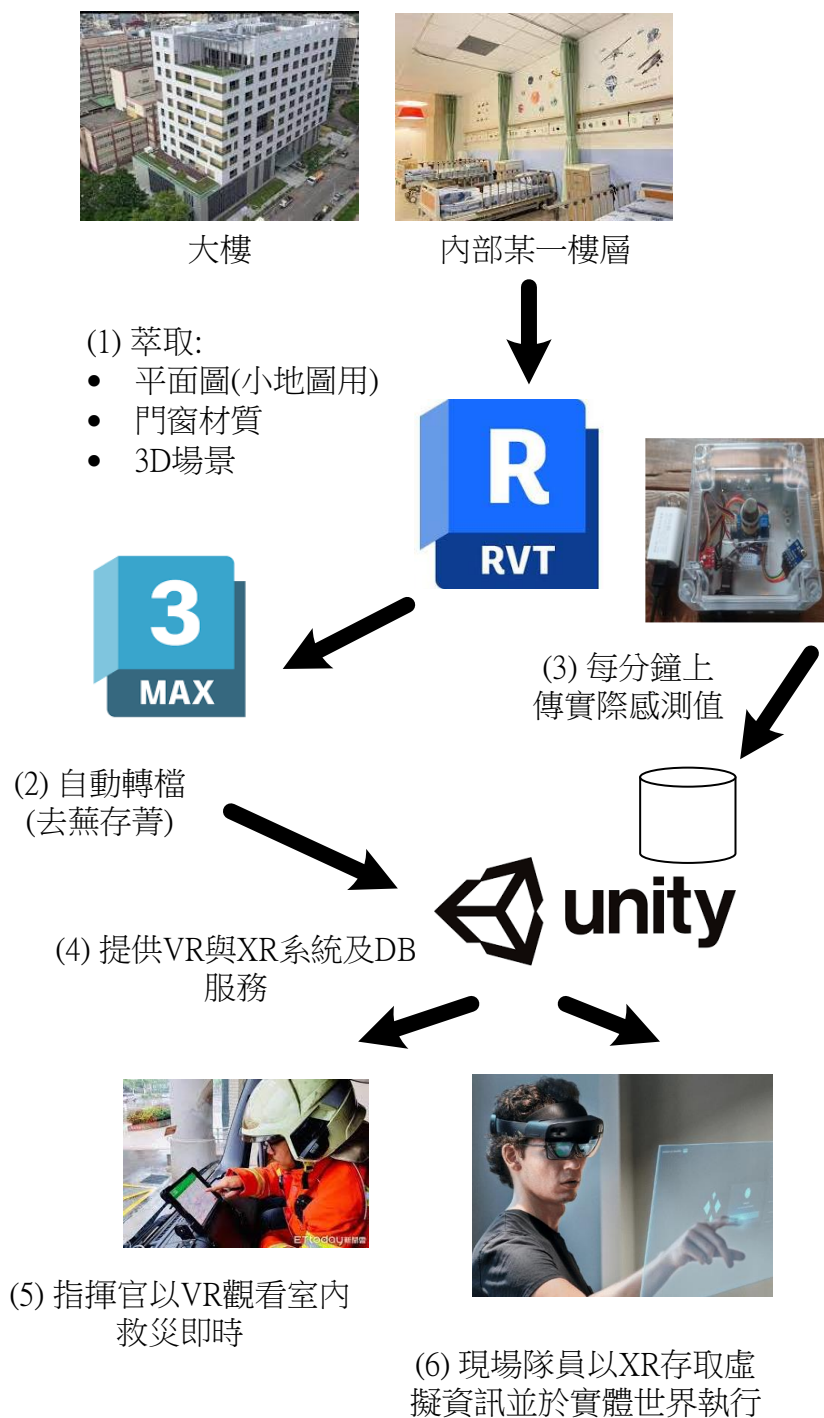


圖 4-1 整體系統運作流程

以下各節分別說明詳細步驟。

第一節 從 BIM 萃取資訊

本研究理想狀況為任何建築物之 BIM Revit 檔案，皆可轉型至 XR 系統，但實際上仍有一些限制，列舉如下：

- 由於一棟建築 BIM 檔案資訊過多，實務上會求 XR 系統效能，建議一次只轉入一層樓的 BIM 資訊。
- 該層樓之消防設備，如水箱、消防器材、瓦斯或電源總開關所對應的 BIM 建築元件應力求清晰，方便後續於 XR 呈現。
- 關於既有的逃生路線，因絕大部分 BIM 模型並無建置此資訊，本研究開發另一小工具程式如圖 4-2，可讓使用者調整逃生路線的各個轉折點，形成在 XR 系統之綠色逃生路線。
- 建議使用 Revit 2022 以上的版本。

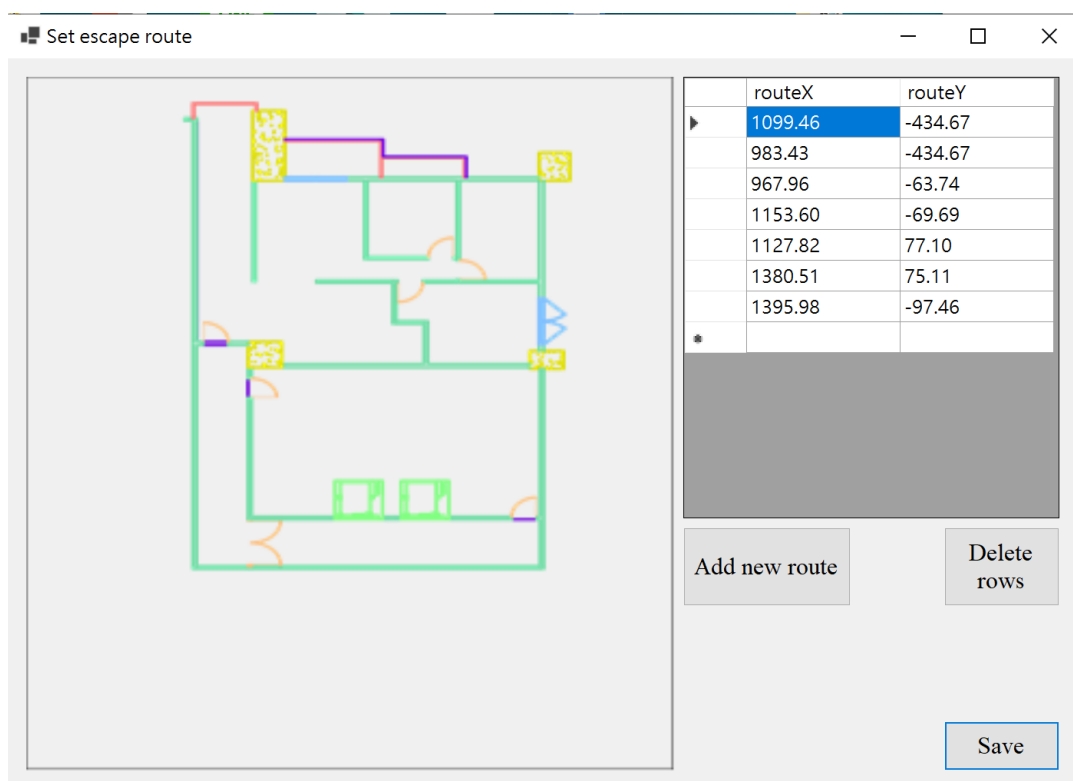


圖 4-2 程式調整逃生路線之介面

- 選擇該樓層的座標原點(0,0,0)，通常為樓梯上來處，或大門入口處，可選擇門檻線的中心點，於小工具程式內標註，此時。XR 系統與 BIM 程式的所有座標均會自動對齊，座向預設上方為正北。

- 確認可能會被消防隊員破門或破窗而入的建築元件，其材質資訊已輸入無誤。

第二節 於 3ds Max 執行自動轉檔

由於 BIM 資訊過於豐富，若全部轉入 XR 系統，可能使得 XR 畫面遲鈍，因此，實務上會將 BIM 透過 3ds Max 做二次轉檔，保留正確的 3D 幾何形狀與所有元件代號，如圖 4-3 所示。

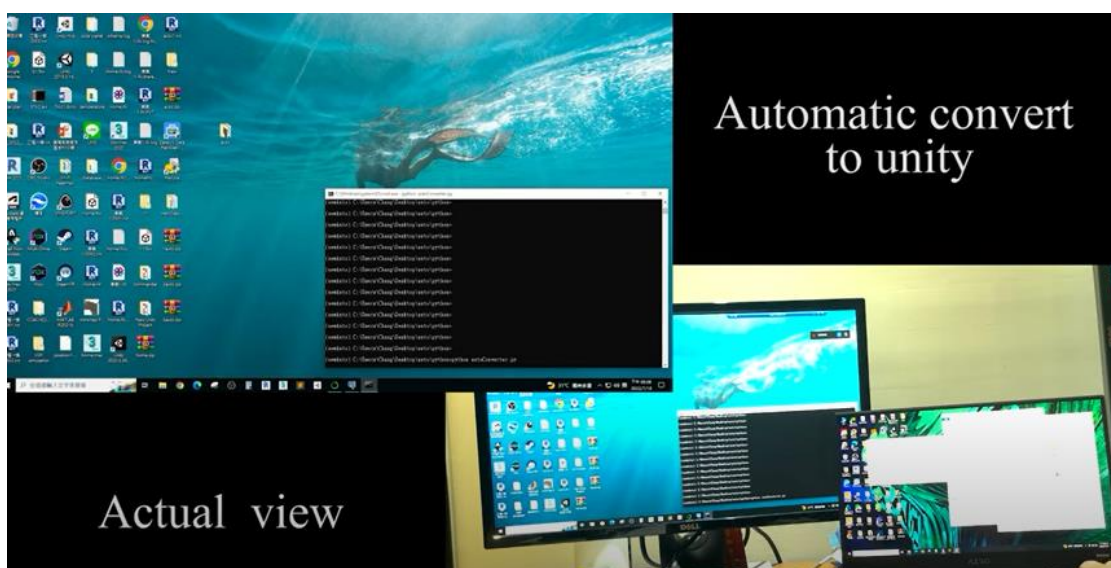


圖 4-3 自動轉檔程式示範

此自動轉檔程式非鎖定特別建築物，只要建築物樓層符合上述條件，透過自行開發的 Python 便可獲得適用於 XR 系統的 3D 模型。經研究團隊量測，一般約數百 MB 的 RVT 檔案，此轉檔程式可在五分鐘內轉置完畢。

第三節 置放感測器與自動上傳監測數據

為了示範數位雙生系統，研究團隊另行開發 Arduino 裝置，可連 Wi-Fi，但需要 USB 供電，可偵測溫濕度、照度、煙霧等環境數據，並每分鐘自動上傳至指定資料庫，供後續 XR 系統運用。如圖 4-4 所示，已經長達三星期以上、不斷電的測試，資料庫端均可正常接收資料。

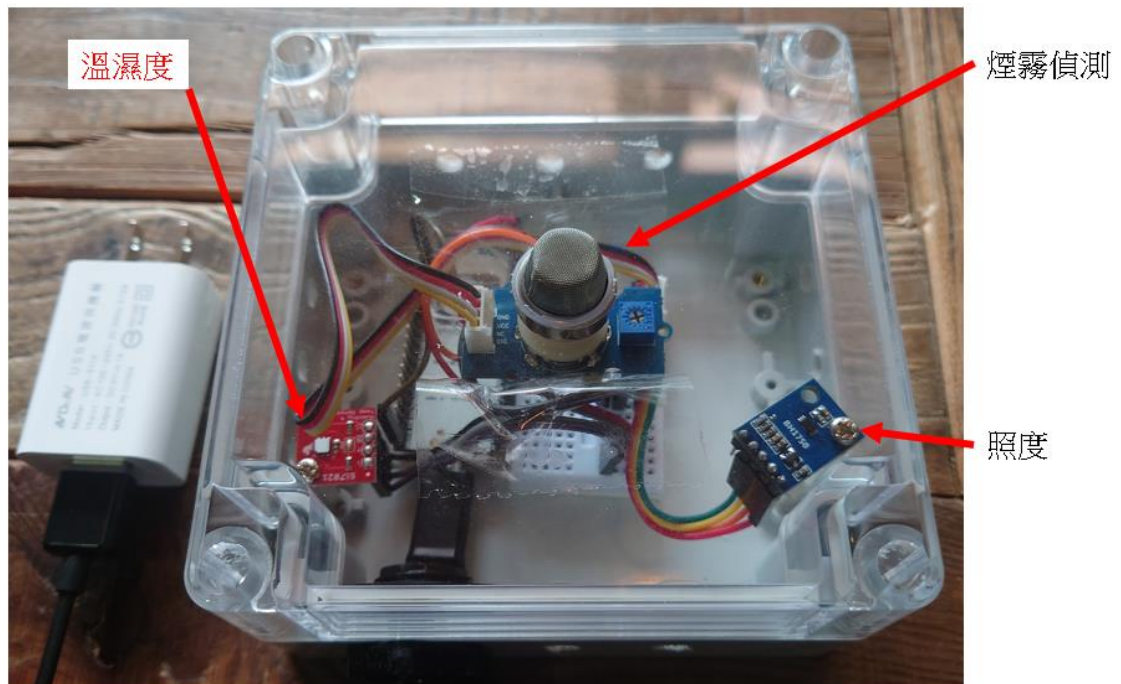


圖 4-4 Arduino 感測器裝置實景(第二代)

在佈署本裝置的部分，因 XR 系統在呈現時，會建議在眼睛舒適之處顯示環境資訊(如感測器值)，又因 XR 內本就有實體世界的各種影像，故，事實上沒有必要在 XR 系統重新繪製感測器的示意圖，僅需要呈現數值。此 Arduino 可放置在實體世界任何位置，可高可低，只要 Wi-Fi 收訊良好，但其在 X/Y 平面上的座標，必須在 BIM 內透過小程式標註，如此一來，實體世界的實時環境數據，便會先到資料庫暫存，而 XR 系統會在虛擬世界與實體世界 X/Y 座標疊合處，在眼睛舒適高度顯示此感測數值，如圖 4-5 所示。

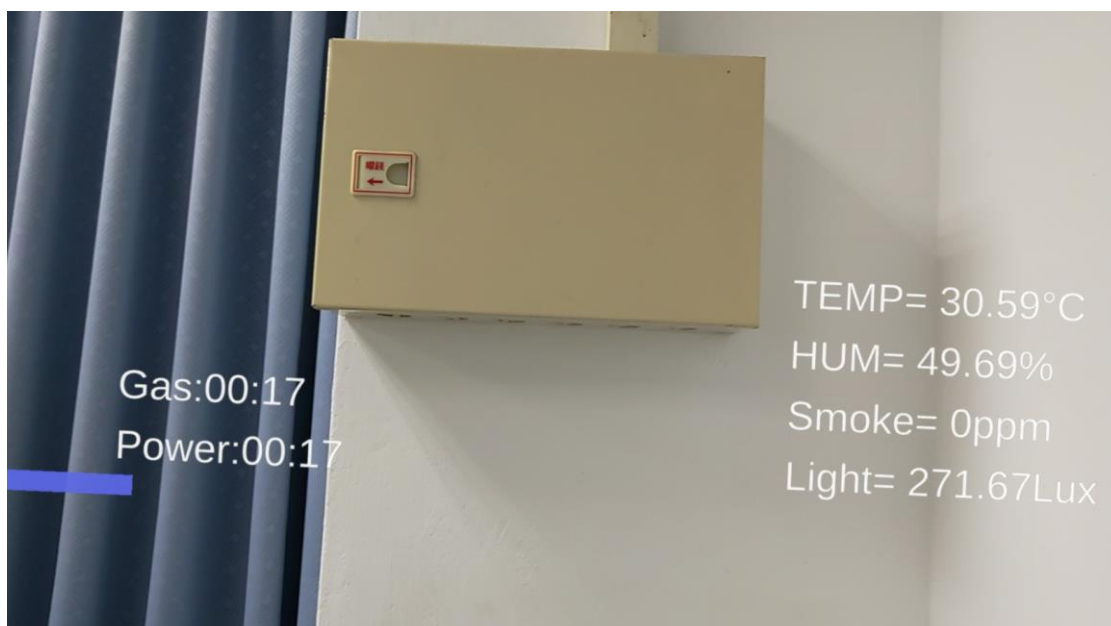


圖 4-5 Arduino 感測器在 XR 的顯示

第四節 開啟 Unity/XR/DB 服務

如圖 4-6 所示，在現場一般來說可使用一台中高階筆電，同時扮演伺服器端資料庫，加 XR/VR 系統的程式運作處，並用手機網路分享的功能，使得筆電、XR 眼鏡、數個 Arduino 裝置(使用行動電源供電)上網進行資料共享。若研究團隊至一陌生的大教室，連 BIM 模型也無，必須現場重建，估計需要花 1-1.5 小時，繪製 BIM、轉檔、設定初始參數，啟動相關服務等。



圖 4-6 桃園市龜山區某長照中心內啟動 XR 系統

第五節 指揮官操作 VR 介面與互動

在指揮官部分，畫面較簡潔，並非 XR 眼鏡內的影像即時傳至指揮官 VR，因這樣設計將佔用較多的頻寬。VR 的介面如圖 4-7 所示，右下角為所追蹤的消防隊員之即時位置，包含眼睛視角的方位向量，中間的畫面可謂 BIM 模型直接轉到 Unity 模型的成果，雖然稍不精緻，但其外形幾何從 BIM 得到，尺寸相當精確，左上角為感測器數值。

圖 4-8 為 VR 介面在查詢感測器歷史數據之畫面，指揮官具有較多功能，可查閱整個火場的所有資訊，並可在 VR 介面設定新的逃生路線，讓消防隊員看到。

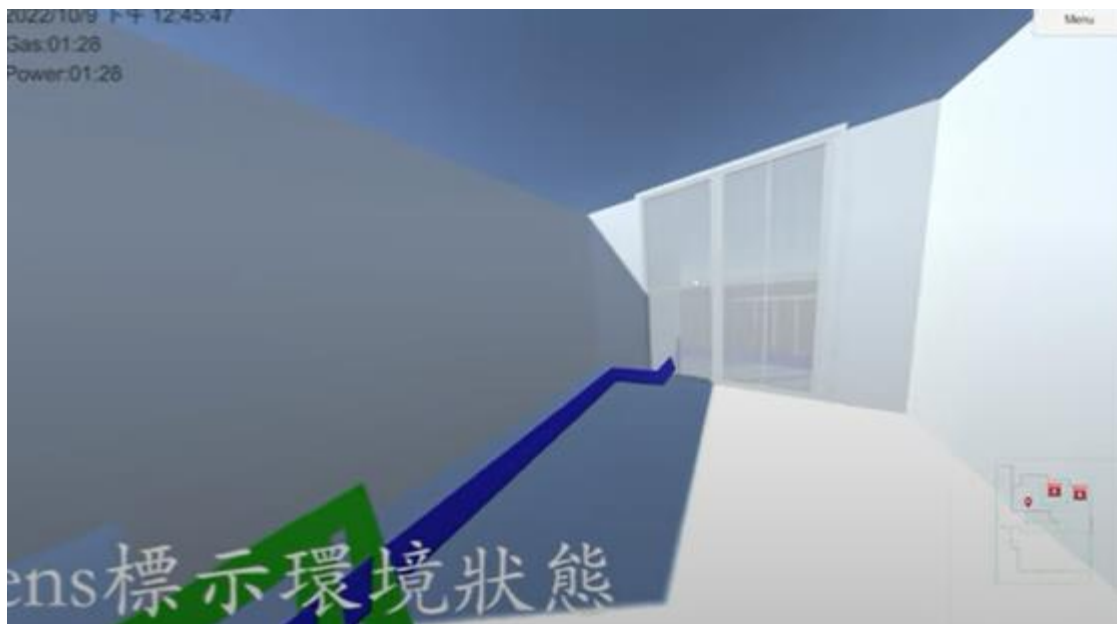


圖 4-7 VR 的主畫面

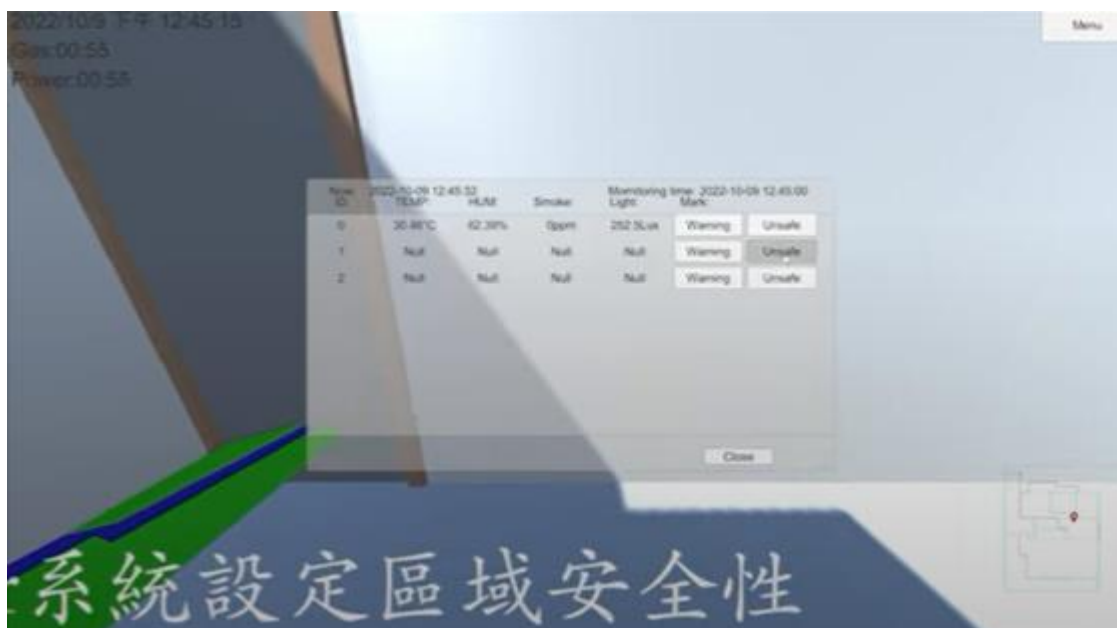


圖 4-8 VR 的感測器資料庫查詢介面

第六節 現場隊員操作 XR 介面與互動

現場消防隊員的訓練任務有三，第一為瞭解室內空間佈局，包含感測器數值，如圖 4-9 的白色字體部分；第二為瞭解或跟隨逃生路線，如圖 4-10 綠色線或藍色箭頭，其中，綠色線代表建築物既定逃生路線，藍色表示為指揮官或電腦提供，箭頭出現代表為跟隨模式，因使用者即使已在逃生錄線上，仍有兩方向，仍

可能不知選哪一方向能順利逃出，因 XR 系統可知消防隊員的眼鏡正前方向量，換言之即使在逃生線上，電腦仍能指出哪一方位才是正確路線，故以箭頭表示。消防隊員的第三任務，為標示某區域為危險區域，或到指定地點以手勢執行某動作，例如指揮官指示，跟隨藍線走到瓦斯總開關處，以特殊手勢代表關閉瓦斯，XR 系統並會紀錄耗用時間，如圖 4-11 所示。



圖 4-9 XR 的路線顯示及感測器數值

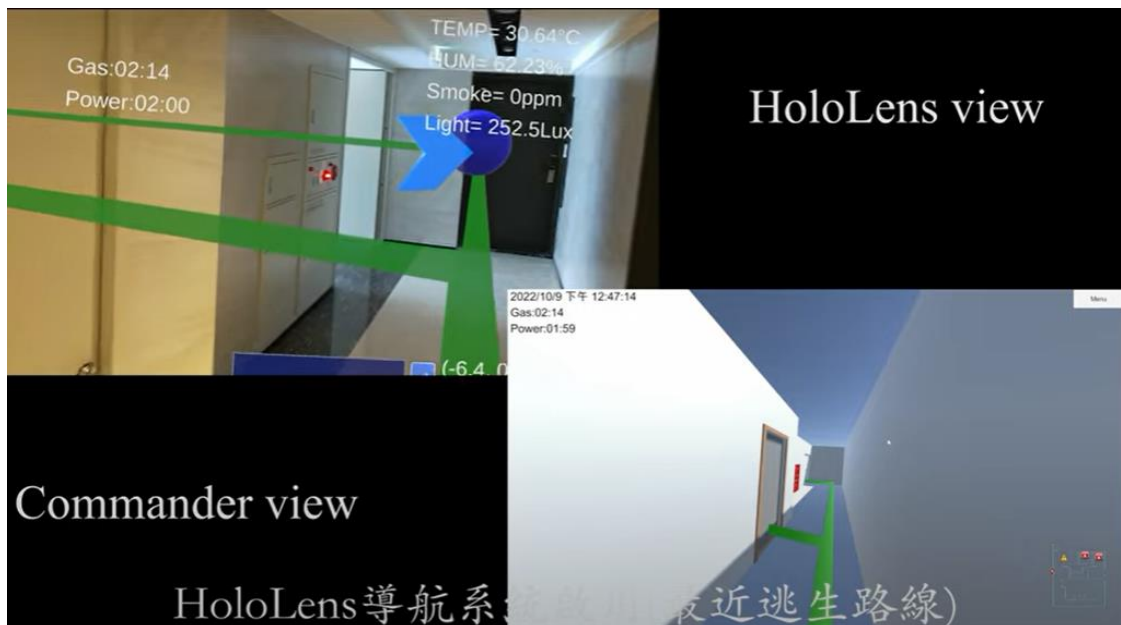


圖 4-10 XR 的路線顯示及感測器數值



圖 4-11 XR 透過手勢(下方選單)練習找到與關閉瓦斯

第五章 研究結論與建議

第一節 結論

本研究以數位雙生、建築資訊模型及物聯網技術為基礎，搭配市面上較成熟的微軟 HoloLens 2 眼鏡，依循 XR 等元宇宙趨勢與理念，開發建築救災輔助訓練系統。團隊首先定義研究範圍，持續進行相關技術與理論的文獻回顧，舉辦兩次專家座談會與諮詢建築及消防領域專家，並參訪與學習新北市政府消防局緊急應變指揮學院(ERCA)的作法，最終發展此 XR 式建築救災訓練輔助系統，能讓救災指揮官或現場隊員，分別以虛擬實境式或擴增實境式，瀏覽建築物內部空間佈局、可能需要破壞通過之建築材質及使用工具、3D 呈現之建築逃生路線與系統動態生成避難路線、指定位置之室內溫度/照度/煙霧狀況感測器值與歷史變化。此外、此系統能讓指揮官掌握消防隊員在室內即時位置、消防隊員眼鏡內看到之即時 BIM 式 3D 場景，附帶查詢或瀏覽各式資訊，進而指示哪些區域不安全使其趨吉避凶，或讓消防隊員透過此系統熟悉室內場景，可計時從室外到室內電源或瓦斯總開關之行走路線，及執行關閉動作所需時間等。

上述功能，均可藉由使用者提供任一建築 BIM 檔案，搭配團隊研發之程式而自動生成，使得本系統的應用範圍擴增，期望對消防救災有實值幫助。其他研究結論如下：

- 1.本研究所指的 BIM-XR 系統，並非只適用某一建築物。建築物擁有者或管理單位若能提供良好的 BIM 檔案(目前最建議 Revit 格式)，則本研究程式可自動轉型建置成 XR 系統。換言之，當 BIM 模型本身品質不佳，轉出的 XR 系統勢必不良，例如走廊空間尺寸與實體世界不合等。期望未來在應用此 BIM-XR 系統前，使用者能先釐清純粹在 BIM 的世界裡，虛擬與實體空間對應是否一致。
- 2.現行物聯網 IoT 本身即使硬體成本低，但仍需要外部電源及尚稱良好的 Wi-Fi 環境。本研究並不建議室內佈署大量 IoT 裝置，因居民可能對於這些 IoT 有侵犯個人隱私的疑慮。因此，本研究建議在住戶同意情況下(例如學校研究室)，僅在重要位置佈署 IoT；或如專家所述，在現行室內火災警報器位

置附近，增設這些 IoT 裝置。

- 3.本研究佈署的 IoT，在火災發生時，期望能朝可犧牲式的方向應用。換言之，在設備運作正常時，代表該處原本就適合人類活動，避難者可在此，消防隊員經過也應無問題。但隨著溫度上升，IoT 或許一開始可以傳資料，但漸漸地應會斷訊，此時，未來版本的 BIM-XR 系統應能查覺、甚至預測斷訊時間，來對人們警告勿經過。
- 4.基於研究團隊對於數位雙生的理解，期望此 BIM-XR 系統能忠實反映實體世界情形(藉由 BIM 與 IoT)。在推估未來部分，由於應用 FDS 來模擬火場需要較長的時間，實務上較不可能即時套疊，因此，本研究建議 BIM-XR 應基於資料庫內的場景表格，來演示火災；至於場景表格內的資料，可由資深消防隊員提供劇情腳本，也可由 FDS 基於已計算完畢的模擬結果，來加快系統呈現速度，維持使用者好的體驗感。

第二節 建議

根據本研究成果，提出以下兩點建議，以利加速發展數位雙生技術在建築工程或防救災領域的應用，適切地解決實務問題。

建議一

以數位雙生技術輔助訓練社會住宅之消防救災能力：中長期建議

主辦機關：臺北市政府消防局、新北市政府消防局、桃園市政府消防局、臺中市政府消防局、臺南市政府消防局、高雄市政府消防局

協辦機關：內政部消防署、臺北市政府都市發展局、新北市住宅及都市更新中心、桃園市政府住宅發展處、臺中市住宅發展工程處、臺南市政府都市發展局、高雄市政府都市發展局、內政部建築研究所

社會住宅為各級政府施政重點，當災害發生，公部門有必要協同各單位，提供更好、更完善的救災作業，進而促使私部門建築管理業者仿效，共同提供更安全的居住環境。當社宅 BIM 資料完備且可取得，應用本研究成果並依各地需求客製化，應能發展一套更好的數位雙生式救災訓練輔助系統。例如，消防隊員在

訓練時，可藉由此系統事先預覽社宅 3D 場景，並依現場 IoT 偵測值，在虛擬世界看到模擬出的災害特效，在實體世界則看到虛實合併的救災建議，最終期望消防隊員能熟悉場景，以最有效率方式完成救災任務。

建議二

強化建築類型國家關鍵基礎設施之數位雙生式防災整備程度：中長期建議

主辦機關：經濟部國營事業委員會、台灣電力股份有限公司、桃園國際機場股份有限公司

協辦機關：內政部消防署、內政部建築研究所

簡言之，國家關鍵基礎設施(Critical Infrastructure)為對國家或社會，是否能正常運作有顯著影響的設施，例如台電的發電廠、桃園國際機場，或重要政府機關的辦公大樓等。本研究最具體的產出可謂建築物之材質與室內空間佈局，及溫度/照度/煙霧等即時狀況，透過 BIM 與 IoT 等技術，可讓現場隊員以擴增實境或延展實境式眼鏡，在實體世界看到疊加出的虛擬世界資訊，同時也能讓指揮官在外界以虛擬實境式 3D 場景瀏覽與掌握室內隊員的即時位置等資訊。

對於建築類型之關鍵基礎設施管理單位而言，除了擁有建築物的 BIM 檔案，如何加值應用這些 BIM 資訊，輔助或強化該建築的防災整備程度為重要課題。本研究所示範的消防輔助訓練情境，若能增加更多專屬該建築的防救災腳本，例如撤退或防護重要人員與物資，相信可藉由擴展本研究成果來加以實現。例如讓人員戴上 XR 眼鏡，可遵從指揮官的即時指令(不只透過對講機)，也能讓指揮官時時掌握現場實況，下達正確決策等。

此外，一旦建築類型關鍵基礎設施有室內裝修的需求，如何同步至其 BIM 檔案，進而轉至 XR 系統，亦為重要研究議題。參考先進國家作法，收集 BIM 資料的重點在於【建立索引】來加速查詢等後續應用，例如建立該建築的語意網(semantic network)後，電腦便能推論空間關係，對防救災助益較多。最後，針對這些重要建築，諸如本計畫所收集之溫度、照度、煙霧狀況，或搭配智慧電網等各式感測器，其所收集的資料除了日常應用程式指定用途，從防救災單位的角度應可代表該建築的運作狀況。由於來自重要建築，這些資料必須善加保存、保密，

但在需要分析時，仍能完整無誤取出。因此，管理單位可嘗試替這些重要建築設立數位雙生系統，仿照本研究成果，首先可在救災工作上提供協助，後續則可在節能、設施安全等領域提供進一步的資訊服務或保全動作，達到所謂建築物黑盒子的保全作法。

附錄一 工作會議紀錄

第一次工作會議 會議記錄

開會時間：111 年 5 月 10 日 (Tuesday) 上午 10:00 -

開會地點：Google Meet 線上會議

出席人員：蔡組長綽芳、劉副研究員青峰、陳助理研究員士明、

雷聘用研究員明遠、厲副研究員妮妮、中央大學周教授建成、

張智雄、王如觀、李函玲、蘇于翔

主席：蔡組長綽芳、周教授建成

記錄：李函玲

會議議程：

壹、工作進度報告

●周教授報告進度

貳、問題與討論

●雷研究員提問、研究團隊回答

Q1：請問由 BIM 加 XR 所建立的專家輔助系統，其定位為何？可為現場指揮官做戰略上應用，亦可為小隊長做戰術上應用，因火場情勢瞬息萬變，系統是否可即時回饋與更新？

A：謝謝專家的建議。原先構想希望系統能輔助現場指揮官，提供決策建議。關於火場狀況，期望透過感測器搭配屋內既有 Wi-Fi 傳出資料，當資料可傳出，系統應能即時呈現；當前幾分鐘系統有收到資料，再來則無，可能代表火場情勢已有變化，後續值得關注。

Q2：搶救流程利用 BIM 去做災前規劃，當 BIM 模型無法跟現場環境更新，例如：通道改變、空間即時變動，請問如何處理？或建議尋找一些 10-15 年不太變動的場所，例如國家圖書館等，較易符合研究需求。

A：謝謝專家的建議。現行 BIM 技術確實不易隨房子裝修而有所變化，尤其當 BIM 已轉至 XR 系統，XR 空間佈局與 BIM 模型內部一致，較難即時更新，是故，團隊將選擇空間格局變化較少的長照機構或學校建築，

讓此問題簡化。後續會希望地方政府建管單位對於重要建築物在重新裝修時，其 BIM 模型亦能隨之更新。

Q3：FDS 對於起火點的預測結果較為理想化，僅能提供參考，不易說服現場消防隊員。火災現場多以救人為第一考量，滅火為第二。先前是否有整理每場火災消防隊員所攜帶及使用破壞工具之統計資料？可針對高頻率使用之破壞工具做原因及種類的分析，建立資料庫，便於建議出勤應攜帶的工具。

A：謝謝專家的建議。FDS 對於火災現場應變仍有進步空間。後續團隊會整理出火災使用消防破壞工具的比例，及工具常用的頻率，供後續研究參考及使用。

Q4：BIM 和 FDS 已應用在消防訓練上，例如新北市消防局，但僅模擬，離實際用於火場仍有一段距離。

A：謝謝專家的建議。團隊研究重點比較在 BIM 及 XR 整合與後續應用上，例如空間體驗感與路徑規劃等，本研究非以 BIM 及 FDS 整合為目標。關於 FDS 會以假設的建築物、假設的情境，預先跑出的結果，套用在本系統上。本研究在感測器偵測高溫處(或即將有高溫處)，呈現火的動畫；在煙霧偵測器等發現濃煙處，呈現濃煙的動畫，並非等 FDS 計算完畢才呈現。本研究成果應可做火災演習用，讓消防隊員熟悉場景，預先規劃數條救援路線。

●陳研究員提問、研究團隊回答

Q1：現場指揮官是否為本系統的直接使用者？會如何使用？屆時設備在連接網路上，或在現場溫度問題上，有無顧慮？

A：謝謝專家的建議。系統的大部分裝置，如筆電、VR 頭盔等會在室外現場指揮官附近，指揮官是本系統的主要使用者，當然其他隊員亦可使用，但系統建議的路徑與破壞工具使用方式等，建議仍經指揮官確認，也應經指揮官發佈實際命令。系統會帶入現場的 AR 眼鏡，由於成本較高(15-20 萬之間)，較難人手一【AR 眼鏡】，因此，建議仍是讓進入現場的指揮官，或授權人使用，同樣地，對於電腦的決策建議，也應經指揮官確認，不宜直接給消防隊員使用。

Q2：系統可否提供一最佳化的破壞工具攜帶建議？

A：謝謝專家的建議。此部分沒問題，會考量消防隊員體力，最多能攜帶的工具數目等，做一適切考量。

Q3：事先計算的最佳路徑或最短路徑若遇上起火點，如何應變解決？

A：謝謝專家的建議。指揮官可新設避開點或空間，不讓系統規劃經此的路線；或可由感測器得知，設立在門檻值以上，符合者變成應避開的空間。

●劉研究員提問、研究團隊回答

Q1：進度簡報 P19 表示目前 BIM 檔案格式為 Revit，未來希望可以配合建管系統，IFC 檔案可匯入與匯出。

A：謝謝專家的建議。團隊已有考量此問題，正研究中。

Q2：BIM 需要哪些資料，元件的詳細程度、屬性、建議先規劃與定義出，滿足結案要求。

A：謝謝專家的建議。團隊將逐一規劃與定義出所需的 BIM 資訊。

●厲研究員提問、研究團隊回答

Q1：整個模型的推論時間，是否來得及用於救災？

A：謝謝專家的建議。依照先前團隊的經驗，本體論推論約數分鐘內可完成，呈現部分只要電腦的顯示卡性能得宜，應可有不錯的互動體驗感。可能最久的時間仍是 BIM 轉至 XR 系統的時間，若整棟建築有時需要數十分鐘，若可只處理需要救災的某一層樓，則耗時大幅降低，應能符合救災的需求。

Q2：設備的受熱程度是否耐得住高溫？

A：謝謝專家的建議。詳細的硬體規格，當後續實驗結束、確認可用的感測器後，會陸續補上最低要求的規格。。

Q3：IoT、感測器位置分布如何配置？建商是否需要附上 BIM 檔案給政府主管機關？

A：謝謝專家的建議。現行新的公有建築，業主可取得 BIM 檔案的比例逐漸上升，目前許多地方政府的社宅，完工後管理單位亦有 BIM 模型。

本研究確實需要準確無誤的某建築 BIM 檔案，方能後續應用。IoT 感測器等位置，主要取決現場 Wi-Fi 環境，與火場溫度，但因建築室內 Wi-Fi 相當普及，國外也有許多建築火災、地震等各式災害救援工作，依靠 Wi-Fi 成功傳達資訊的文獻，團隊也將整理這部分文獻與現行程式，供設施管理單位參考，使其有工具可決定最適合佈署 IoT 的位置。

Q4：火場的網路問題，例如頻寬或降載的需求等？

A：謝謝專家的建議。團隊會查詢相關文獻，與測試離型系統之網路頻寬需求，後續做正式的建議。

Q5：程式若想要輕量化，要如何做到？

A：謝謝專家的建議。程式正開發中，會朝此方向努力。

Q6：程式軟體的救災建議，是否變成後續究責的爭端？

A：謝謝專家的建議。團隊會在系統給的各式建議最後，強調此建議必須經指揮官查證、認可，系統不會直接發布命令給消防隊員。

●蔡組長提問、研究團隊回答

Q1：技術跟學術如何回歸現實？短期內(一年計畫期限)可以完成哪個階段？需要重新思考研究路線，挑出重要研究目標。

A：謝謝組長的建議。團隊研究此議題已多年，也非常希望研究成果可落實至應用層面，將配合貴所的各式建議與指導，修正研究方向，完成研究目標。

Q2：如何推估避難者的位置？

A：謝謝組長的提問。研究構想原先假設避難者可自行通知外界所在位置；當避難者無法告知，可透過既有 IoT，例如 Wi-Fi 訊號、CCTV，甚至研究團隊於 2020 發表的透過聲音與深度學習技術之室內定位作法 [http://dx.doi.org/10.6652%2fJoCICHE.202009_32\(5\).0002](http://dx.doi.org/10.6652%2fJoCICHE.202009_32(5).0002)，找到避難者的位置。

Q2：下次會議希望邀請消防背景的人參加。

A：謝謝組長的建議。將遵照辦理。

Q4：建議參考新北市設計以消防隊員訓練為主要的研究方向。

A：謝謝組長的建議。將遵照辦理。

Q5：未來若有現場實驗的行程，希望可以邀請建研所一起參與。

A：謝謝組長的建議。將遵照辦理。

Q6：建議可以和社宅互相連結，以社宅為研究場域設定。

A：謝謝組長的建議。將與桃園市政府住宅發展處，與桃園市社會住宅服務中心聯繫，洽詢本計畫合作的可能。

參、臨時動議

- 討論今年度各次工作會議等之行程
- 預計7月的專家座談會議，希望可以提前

肆、散會 11:50AM

附錄二 第一次專家座談會會議紀錄

第一次專家座談會 會議紀錄

開會時間：111 年 6 月 24 日 (Friday) 下午 03:30-

開會地點：Google Meet 線上會議

出席人員：蔡組長綽芳、劉副研究員青峰、陳助理研究員士明、

雷聘用研究員明遠、厲副研究員妮妮；中央大學：

周建成教授、王如觀、李函玲、蘇于翔、張智雄；出席專家：

內政部消防署火災預防組莫懷祖組長、

桃園市消防局鄭安平副局長、新北市消防局陳崇岳副局長、

桃園市消防局指揮中心彭國銘專員、新竹縣消防局戴荏國科長、

新竹縣消防局第二大隊陳軍佑大隊長

主席：蔡組長綽芳、周教授建成

記錄：李函玲

會議議程：

壹、工作進度報告

●周教授報告進度

貳、問題討論與建議

●鄭安平副局長建議

R1：初步了解此計畫主要可以取代目前救災時所需調閱的起火場所救災乙種圖，立體 3D 模型若取代 2D 平面圖，視覺效果會比較好。系統建置好後，由搜救人員穿戴感測器將蒐集到的火場資料傳送給場外指揮官，是否可以於實際救災上使用，可分兩個部份來做討論：(1) 穿戴感測器是否會增加救災人員的負擔？(2) 系統未來發展需思考是否適合實際火災現場去做使用？系統需要確認場域與對象，搜救人員或者指揮人員？

開發用途由搜救系統轉為訓練平台，提供相關機構教育訓練使用，例如緊急應變指揮學院(ERCA)。系統若開發完成，未來可以提供其作為在職教育訓練，作訓練教材。

R2：5G 網路在火災現場有斷網或阻隔情況發生時效益會打折扣。感測器

僅能耐 85 度高溫，低於火場實際溫度，若感測器於高溫下失效，系統主要對象又為搜救人員，要如何解決此感測器問題？

R3: 目前有無法規規定建築物場所提供 BIM 模型？桃園市目前要求 5000 萬至 1 億的公有建築物在興建時導入 BIM，1 億以上公有建築則一定要有 BIM 的規劃，但實際上發展程度僅達 LOD 200、300，運用在此系統上效果會有限。BIM 模型導入的普及是否要透過法規的制定來推動這個議題雖不是此計畫目的，但模型的即時下載或擴充功能是此計畫需思考的問題。

●陳崇岳副局長建議

R1: 新北市的緊急應變學院引進國外 VR 系統（美國 ADMS 系統）來為指揮官訓練，模擬情境有高層建築物、低樓層(4 樓以下)、鐵皮屋、化學物品堆放等（A1 案件較容易造成死亡），一個模型的建置費用大約是 300 萬至 500 萬。如剛才所提及，VR 訓練對象為指揮官（戰術面）較常見，整個消防機關行政作為（戰略面）、同仁操作（戰技面）較少見。當場無法提供第一線消防人員救災或是演練場合無法全面封鎖配合演練，就非常適合以 VR 去作訓練操作。歡迎大家實際至新北市緊急應變學院參觀交流。

R2: BIM 在實務上存在一些問題，主要是圖資無法普及，大多數公共場所才有對外開放圖資，私人企業不易取得，圖資的普及和取得是否需要透過法律的推動？即使有了 BIM 圖資，仍需要搭配現場 CCTV 設備作準確定位，因實際火場誤差可達 3 公尺，而火災現場 1 公尺內能見度已不理想，所以定位的準確度問題尚須討論。

R3: XR 眼鏡跟空氣清淨器同時配戴於搜救人員臉上這件事情較難達成，目前救災使用的頭盔攝影機僅提供給場外幹部。也需要更加了解救災時序，包含從受理報案到圖資下載的時間推估。

R4: 火災現場閃燃的溫度約為 608 度，即使透過布設水線降溫也有約 100 度，感測器的耐熱程度需解決。建議以搜救人員由 2 至 3 人一組為原則設計，幹部負責指揮組員搜救，幹部同時擁有頭盔及攝影機，目前頭盔攝影機用途是事後調查檢討用，無法即時輸出。

R5：消防搜救人員身上已經配戴無線電、照明設備等等，未來若要攜帶 XR 設備或感測器會希望能設計將其依附在消防衣上，以不佔用雙手、不影響救災為主。

R6：BIM 資料包含了計算接收給指揮官的數據、用於定位分析的圖資、未來用於訓練的 XR 眼鏡，BIM 資料如何產官學結合？

●莫懷祖組長建議

R1：一直以來搶救組在工作上重視資訊流整合，資訊主要會有語音、影像、即時資料或者未來會有的 BIM 和 IoT 資訊，研究團隊可考慮救災資訊流的整合。資訊流整合完成後提供給指揮組或是各任務分工小組，希望發展為群體共用模式。目前指揮模式多元，有分站指揮和同步指揮等等，並非只集中在某區域的同步決策，提供給團隊參考，可否發展為各點位並同步決策的系統。

R2：此研究報告所提出的系統需求目前很殷切，雖許多縣市已有設備，如何和現有設備整合，希望可以就實際面提出相關整合建議。另外，消防火場環境嚴苛，裝備需耐熱防火，鑒於現場人員裝備繁多，未來研究的感測器或儀器設計應與目前採購裝備相同標準，以輕質、減量、耐用為優先考慮。

R3：在 BIM 轉檔至 XR 的時間序列的部分，序列目前需要多實際測試。個人認為小規模火場用此方法殺雞用牛刀，在某些情境下規模需要增加，希望系統發展至可提供給大規模廣域救災。

R4：在安全快速推估救援路線的部分，實際上是以軟體來推估，所需資料相當多，資料需要整合的可能有：BIM、IoT 所蒐集資料、現場人員定位資料回傳、攜帶工具數量、受困者資料、燃燒情況等等。建議將所有資料之間的關係加以釐清，也需要慎重盤點資料，區分必要及非必要資料。而現場網路都是電信公司提供的 4G、5G 服務，消防單位不可能自己建立一套穩固系統，所以在網路上的使用是否可採取多路由或是多備案等其他穩定的方法，希望研究團隊可以多給出方法建議。

R5：近年來許多資源有重複投資的情況，若可行的話，建議可以整合已成熟技術至此計畫之中，或許可以發揮較強的強項。而此系統可能需要

經過長時間腳本（戰略和戰術延伸至戰技）的演練，才能過渡到實際現場來使用，這樣也方便去做修正加強。

●戴荏國科長建議

R1：在 IoT 資料部屬、蒐集、彙整的部分，需要思考哪些資訊在火場急需了解？在資料龐大的情況下，計算非常耗費頻寬，現場人員是否能花費時間等待？

R2：消防人員在火場內穿戴眼鏡可能會造成不便，而無線電和氧氣瓶在火場內的即時狀況未來是否也可以加入資訊之中，成為場外指揮官決策資訊之一。

R3：設備耐熱程度和實際火場有落差，儀器會有損耗的問題。此研究用於實際用於教育訓練是有幫助的，不過未來若導入真實火場現場人員內，現場操作人員可能需要特別專業訓練才能全面取代。

●陳軍佑大隊長建議

R1：以目前實際技術面的網路規格來說，此系統的發揮較難如預期的好。

Q2：以轄區內新竹科學園區為例，在所有場所訊息都被遮蔽的情況下，若要導入 BIM 的系統，訊息皆沒辦法傳遞，需多加思考遇到此特殊場域的問題。

●彭國銘專員建議

R1：VR 模型在目前現有實施平台的文件格式非常多，計畫會有轉檔的需求，可能需要考慮 BIM 的格式以及使用平台。BIM 建築物的來源適用性是否足夠？比如說一個 AR 環境內會需要有很多個模型，所以必須去考慮適用性的問題。

R2：XR 的運算過程中是否需要考慮 BIM 資訊減量，例如說在救災時需要以隔間的狀況去布設重要防線，此資訊就是消防人員在救災時必要的重要資料，那在 XR 要如何呈現？

R3：穿戴設備方面要以使用對象來做為設計主要考量，以 AR 眼鏡為例，實際要在相對安全的環境才能使用，第一線人員可能會因為佩戴面罩而

無法多攜帶眼鏡進入火場，火場內可見度極差，只能透過溫度來推估路線狀況並非以視覺為主，設備要如何結合？

R4：IoT 設備若要發揮其用途，需要事前全部設置於相同場域內，不可能於災害發生之後才設置，此問題又回歸系統使用對象的問題，需要思考究竟系統要使用在搜救方面還是使用在訓練方面，才能確實讓系統協助到消防隊？

●陳士明助理研究員發問、研究團隊回答

Q1：需要進行事前情境模擬，請問預設情境模擬需要有哪些變數？模擬了哪幾種情境？

A：主要是利用公有建築物進行模擬，例如國家圖書館等重要建築物，依照過去歷史或是發生過火災的情況去預跑狀況。先前有展示了地震預跑的狀況，是以 90 秒作為地震預估時間，將全部過程於 3D 平台作呈現。這套系統是希望在建築物有 BIM 模型的情況下，整合感測器即時資料，若要多結合 FDS 資料恐怕會花費更多計算時間。在有 BIM 模型且只模擬幾個指定情境的情況下，預計會花費一個禮拜左右的時間來進行事前模擬，即時模擬的話效果會較差。

●厲研究員提問、研究團隊回答

Q1：關於系統最後建置結果，希望老師可以呈現完整，以便於建研所的成果宣傳。救災時序安排及時間花費很重要，系統上資料轉換計算時間需要先釐清，期望研究成果可以呈現資料轉換所需時間，例如建築物規模大小對應資料計算時間。

A：之後報告會呈現實測資料轉換時間及實測結果

●蔡組長提問、研究團隊回答

Q1：未來系統研究看似會有多面向的應用，純技術研發和實際應用兩部分範圍寬廣，或許需要透過實際參訪緊急應變學院，了解現況後才能釐清可以如何貢獻分工，讓計畫做得更好。

Q2：已知現有建築物不見得有計畫所需安裝的 IoT 儀器，未來系統

要思考如何和現有儀器相結合，要如何應用？

A：後續會安排參訪行程。

參、散會 05:20PM

附錄三 期中審查會會議紀錄

期中審查會 會議記錄

開會時間：111 年 7 月 20 日（Wednesday）下午 2:30-05:30

開會地點：內政部建築研究所 13 樓會議室

出席人員：何建築師欽欽、沈教授揚庭、林建築師大目、邱主任晨瑋、
陳教授上元、張建築師文瑞、蔡組長綽芳、屬副研究員妮妮、
陳助理研究員士明、沈研替譽澄、中央大學研究團隊
(周教授建成、李函玲、蘇于翔、王乃儀、張浩歲)

主席：樂主任秘書中丕

會議議程：

伍、工作進度報告

●周教授報告進度

陸、問題討論與建議(Rx 代表委員的建議；A 代表研究團隊的回應)

●何欽欽建築師建議

R1：XR 技術整體配戴和操作時間較長，速度可否跟上救災速度？XR 技術用於防災宣導或教育訓練或許能得到更高的效益？將消防救災設備模型化，能否利於指揮官使用平板，在大樓平面時瀏覽看出？目前公共工程都有 BIM 模型可以引用，私人工程部分也可以透過使照圖來進行模型建置，變數就是關於室裝申報、軟裝、堆置物品較難預測，就算有室裝申報，窗簾壁紙等等部分家具是否有易燃的問題存在？建議 BIM 模型可以展示：防火區劃設計，牆面位置、樓電梯、出入口標示等動線規劃做及時的呈現。未來可考量建置環境模型的應用。

A：謝謝委員建議，將以消防訓練為主軸；將在 XR 系統的 BIM 模型需求中增列上述項目，若 BIM 有 3D 資料則 XR 系統也會呈現；將在 XR 系統資料庫設立防火區劃、預設逃生路線等空間屬性，使得 XR 系統可增進使用者在現場的空間及方向感。

R2：目前公共工程在提供 BIM 模型時都會附加消防系統模型，可以考慮將這個部分納入救災，例如是否需要斷電。全部載入模型檔案龐大且複雜，相關資訊需做慎重選擇。

A：謝謝委員建議，將在 XR 的 BIM 需求增列為選擇性資料，另將一次只轉入一到兩層樓的 BIM 資訊至 XR 系統。

R3：於資訊中增加牆面類型的防火時效標示，不清楚是否能幫助到救災。日後若有標示需求，可能須標示在使照圖中，並且納入模型建置管理。

A：謝謝委員建議，將與建研所討論是否納入 BIM 模型需求。

R4：IoT 要納入那些設備？哪些設備和參數有助於防災？希望可以補充說明哪些 IoT 資料需要建置。公共工程 BIM 模型從設計階段到竣工，內容可能會較龐大繁雜，是否需要大量的載入時間？檔案是否需要輕量化？

A：謝謝委員建議，關於第二點如前所述，將只轉入一兩層樓 BIM 資料至 XR 系統。關於第一點，本研究主軸為 XR 平台，IoT 部分為示範溫濕度感測器(約 300 元)、照明度感測器(約 100 元)、煙霧感測器(約 300 元)等，與平台之間的資料收集作法並留有擴充機制。

●沈揚庭老師建議

R1：設計施工階段建模型的價值相對效益低，所以此案用於消防救災領域可延伸 BIM 模型於生命週期中的價值，可以擁有更多的應用層面。利用 BIM 作為彙整火場資訊的平台，因其本身有物件導向的屬性，也方便攜帶或者更新物件的資訊。

想了解此案事前設計的研究目的指向為何？是否完全指向救災目的？用於事前模擬訓練？若用於救災現場會缺乏即時性，可思考改將模型用於模擬訓練階段，整體會較有餘裕。

系統用於救災現場會建議分為兩種使用情境，將指揮官層級、搜救層級分開。指揮官負責判斷全局情況，需要快速做綜合性判斷，不一定要透過配戴 XR 眼鏡來進行判斷。搜救員負責專職救人，較適合配戴設備進入火場。關於現場的部分，煙霧的模擬和感測器的配置會比較適合放在教育訓練階段；若火災已發生，會建議將現場的資訊從簡，資訊的有效疊合就顯得相當重要。此部分建議將資訊深化，例如及時定位精準化、

臨時路線更改後的重新計算時間效率。

A：謝謝委員的支持，也謝謝給予的建議。本研究主軸修正為消防訓練用途，團隊也將再行研究委員所述資訊疊合、定位精準、臨時路線修改等議題，並在期末報告時呈現。

R2：因牽涉到 IoT 技術，目前少有針對 IoT 應用於火災的監控設備等研究經驗，自行設置顯得較不切實際，未來在設置上可能需要透過法規推動。在無法自行設置監控設備的情況下，如何取得資訊和資訊的選擇都需要再重新仔細思考。建議可以朝研究火災現場資訊如何介接的方向下手，其成果若用於建立系統連通的資訊流是件很好的事情。

A：謝謝委員建議，研究團隊將補充現行 IoT 與火災監控設備的文獻，本研究在 IoT 部分僅為示範，主要貢獻在定義開放的資料介接方式，未來只要 IoT 裝置可自動上傳指定的監測資料，理論上此 XR 系統也能演示火場即時狀況、計算最佳救援路線與展示等。

●林大目建築師建議

R1：期中報告無列入成果落實稍顯可惜。報告中關於成果論文應用之長短期的考量這部分建議可以放在研究報告的第四章。

A：謝謝委員建議，將遵照辦理。

R2：報告第七頁中，第三節研究方法與建置的說明次序有誤，需要將第八及第九頁做調整。

A：謝謝委員建議，將遵照辦理。

R3：研究方法中第一行提及的「三大部分」，希望能在圖 1-3 適當標示。

A：謝謝委員建議，將遵照辦理。

R4：第三頁中提及「BIM 模型在竣工交付以後，因裝修等原因造成的更新…」這部份議題目前在國內較弱，未來可以將其納入長期建議。

A：謝謝委員建議，將遵照辦理，在期末報告提出建議。

●邱晨瑋主任建議

R1：目前於南科已有消防結合科技廠房的相關計畫，同樣為 BIM 加上 XR 的整合，其做法非常重視建築模型資訊，相關人員只要透過掃描 QR code 就可獲得模型資訊，使指揮官和搜救人員擁有相同的同步資訊。

資訊包含空間配置、動線、消防栓、灑水系統等等，強調第一手資訊建

置完整，且定期更新動線。相關單位也有不同訓練情境的建置，例如在 5G 網路的情形下，結合搜救人員的生命偵測器或者空拍機，與火場中受困人員進行對話等。情境不需要太過複雜，透過設計小動作的訓練延伸成整合性練習，同時透過訓練的模擬經驗，來了解 BIM 模型需要改進之處。

建議觀摩其他機關所進行的類似研究，將所有政府機關的資源整合，避免造成資源浪費。

A：謝謝委員建議，將訪問與收集科學園區消防與 BIM 或 XR 作法，納入最後的期末報告；也將另行安排拜訪新北市消防局位於林口的緊急應變學院(ERCA)，做深度學習與技術交流。

R2：此相關做法因存在時間差的問題，導致其目前在消防火場的實際運用上無法普及，若是純粹依靠 Wi-Fi 和 4G 網路，會造成搜救人員生命安全的威脅，以致仍定位在訓練階段。消防訓練中心近年來也有針對關於 5G 場域的相關研究。期待未來研究能將報告中所提及的甲種防護圖(外部資訊)結合 GIS、空拍機訓練。

A：謝謝委員建議，將遵照辦理。

●陳上元教授建議

R1：此計畫的研究重點應為室內定位問題，搜救人員在火場中運用室內導航結合建築物模型目前也是許多人在尋求答案的討論，可以增加探討的深度。

A：謝謝委員建議，將遵照辦理。

R2：作為演習 XR 為很好的教育工具，不過在搭配研究中所提及的各軟體及 IoT 設備上開發門檻較高，期待未來在這部分的進階開發應用。

A：謝謝委員建議，將遵照辦理。

●游仁君建議

R1：關於前端資訊平台的部分，是否需要相關人員的協同作業？比如台電、瓦斯、自來水公司等資訊連結。整合平台所需要的資訊量龐大，建議可以於研究報告中納入資訊轉檔下載時間、資訊資料的存放等相關研究成果，提供消防單位日後平台發展參考。

A：謝謝委員建議，目前暫無規劃整合外部水電瓦斯等資訊，將在期末報

告未來發展部分探討之。

●張文瑞建築師建議

R1：期待預期成果中的實際操作成果。

A：謝謝委員支持。

R2：建議在研究次序方面，需先將技術性問題完備後再製作系統技術操作手冊，而後才透過影片的說明完成教育訓練。

A：謝謝委員建議，將遵照辦理。

R3：本研究最大障礙為感測器的不可預期性，建議可以多加思考情境設計的部分。

A：謝謝委員建議，將在期末報告多方探討 IoT 的各項問題與可能解決方案，因本研究主軸為 XR 平台，可謂對 IoT 感測器採開放態度，目前僅示範三種 IoT：溫濕度感測器(約 300 元)、照明度感測器(約 100 元)、煙霧感測器(約 300 元)，且 IoT 與平台之間的資料收集作法有擴充機制，待未來 IoT 技術更成熟、成本更下降，希望能更容易收集更多建築物現場資訊，使得此 XR 平台演示情境正確、決策輔助有效。

R4：先前專家座談中的相關消防從業人員皆提供了許多對研究有益的相關建議，可整合消防單位於實務面的觀點，對於研究報告會有很大的幫助。

A：謝謝委員建議，將遵照辦理。

●李明浩經理建議

R1：未來此應用服務是否會包含在建築採購內？業主單位是否可以編列預算來做採購的動作？

A：謝謝委員建議，將與建研所討論，並在期末報告未來展望部份有所說明。

R2：智慧頭盔用於火場救災會有遭遇高溫高濕環境的問題，想請教實際應用是否可行？

A：謝謝委員建議，目前微軟 HoloLens 2 有不少工業用情境，適用於高溫環境，外觀與市售版不同，但功能一樣，研究團隊將在期末報告補充說明。

●蔡組長建議

R1：建議研究團隊可聯繫新北市政府消防局，參訪林口訓練中心以瞭解消防局現行作法，在最短路徑規劃與虛擬實境技術部分作深度交流。

A：將遵照組長指示，後續安排拜訪林口訓練中心與進行學習。

R2：其他委員亦有提到，現今高科技廠房已佈署不少感測器來監控特殊氣體外洩、室溫變化過大等情形，研究團隊可從此溫故知新，改進本研究系統。

A：將遵照組長指示進行研究，因周教授有一位在職生在高科技廠房負責環安衛工作，將試著調閱資料進行比較與探討。

R3：建議研究團隊可思考如何將本系統應用在社宅場域，主因社宅 BIM 資料已屬完整，防救災亦屬社宅管理單位的重要工作。

A：將遵照組長指示辦理。

●屬副研究員建議

R1：建議研究團隊可思考將建築物 BIM 分層，僅輸入火災發生處與樓上一兩層資料匯入到 XR 系統，避免系統資料量過大、處理效能不佳。

A：將依屬研究員建議，設計前處理的過濾機制，只篩選適當資料匯入 XR 系統內。

Q2：實際實驗場域可以補充介紹，路線，感測器，路線等補充說明

A：將遵照指示進行說明。

●陳助理研究員建議

R1：建議研究團隊可思考當感測器平時運作正常，但高溫時逐漸失效等情形，藉此來判定感測器異常。

A：將依陳研究員建議，設計相關機制來判讀並顯示。

●樂主任秘書建議

R1：本研究可將消防訓練作為主要應用場域。雖然實際救災時更需要 XR 輔助，因諸多現實考量，如時間緊迫、消防員能額外配戴裝備有限等，但 XR 用在訓練階段反可讓本研究優點得以發揮，例如消防員能透過 XR 更瞭解新建築空間佈局等。

A：將遵照主席指示，以訓練階段的救災工作為主要研究對象。

R2：本研究提出的軟體系統，結合物聯網感測器確實可將現場狀況帶入虛擬空間。因市售感測器大部分僅佈署在一般溫濕度環境下、智慧

建築室內等，用在火災等高溫情況下較少、取得成本可能較高，建議研究團隊可採文獻回顧方式，列表比較各感測器適用情況，讓未來系統發展有所依循。

A：將遵照主席指示，補充相關的文獻回顧。

柒、散會 05:30PM

附錄四 新北市 ERCA 參訪暨工作會議紀錄

參訪新北市消防局 - ERCA 緊急應變指揮學院 會議記錄

開會時間：111 年 9 月 15 日 (Thursday) 下午 2:00 – 4:00

開會地點：新北市政府消防局第二大隊文化消防分隊 3 樓會議室

出席人員：蔡組長綽芳、厲副研究員妮妮、陳助理研究員士明、謝助理研究員宗興、財團法人台灣建築中心(李經理明濤、莊工程師憶、張設計師欽富)、中央大學研究團隊(周教授建成、李函玲、張皓崐)

主席：蔡組長綽芳

記錄：張皓崐

會議議程：

捌、新北消防局 陳副局長致詞

玖、內政部建研所 蔡組長致詞

壹拾、ERCA 影片、簡報、訓練設施導覽

壹拾壹、環境導覽介紹

●參訪 ERCA 訓練場所



●ERCA 內建模組及場景有 12+1 種訓練場景，分別是「港口、公路、醫院、倉儲工廠、商場、捷運、公寓住宅、油槽、隧道、化工廠、機場、高層建築物」以及以林家花園為標的「古蹟場景」。

●ERCA 訓練空間主要分為三區塊：災害虛擬實境訓練場(銅級模擬)、救災指揮站模擬室(銀級模擬)、首長危機決策模擬室(金級模擬)。

壹拾貳、中央大學 周教授簡報

●周教授報告及研究心得交換

壹拾參、交流討論

●陳崇岳副局長建議：

R1：關於照明設備，可以考慮到我們的消防衣，可以結合一下，一個掛你們的設備，另一邊掛照明設施。

R2：消防人員定位的部分，未來是否能夠結合人員常穿的 T-Shirt，因為那設計如果比較小，那可以放在衣服的內襯，以利於偵測定位。

R3：建築內部設置的 sensor，未來可以結合消防設備。

R4：BIM 的部分未來我們自己會建，未來能跟老師以及消防做結合更好！

壹拾肆、致贈紀念品、合影留念



壹拾伍、賦歸 PM 4:00

附錄五 第二次專家座談會會議紀錄

第二次專家座談會 會議紀錄

開會時間：111 年 9 月 27 日 (Tuesday) 上午 10:00 –

開會地點：內政部建築研究所 13 樓會議室

出席人員：蔡組長綽芳、屬副研究員妮妮、中央大學研究團隊

(周教授建成、李函玲、王乃儀、王如觀、張智雄)

主席：蔡組長綽芳

記錄：李函玲

會議議程：

壹拾陸、工作進度報告

●周教授報告進度

壹拾柒、問題討論與建議

●彭國銘專員提問

Q1：模型已經轉為訓練為用，感測器的用途偵測環境資訊，跟資訊如何搭配？

A1：為求逼真，訓練時應該會製造一些煙霧，或把燈光調暗，甚至讓溫度上升，使感測器發揮其功效，把數字帶到虛擬世界裡面，讓在內的使用者及在外的指揮官能看見。

Q2：數位雙生，未來是否可以發展為多人協同？

A2：我們認為 XR 系統可多人使用，但要依照場域的頻寬來決定。考察文獻發現有提到可以額外架設 5G 網路，可使通訊速度增加。

●陳崇岳副局長建議

R1：中央法規需要協助，大型規模建築物需要有 BIM 的檔案並提供，從法規面提供消防隊圖資使用。

A1：日後報告會再參考國內外蒐集圖資模型後如何應用於消防，透過文獻補充，日後會再進行改良。

R2：定位實際使用面，接收器的建點位置的設置，會不會有誤差；設備面可以與消防設備做結合，達到防水甚至耐高溫的效果；XR 系統可結合頭盔攝影機，同時也要考量到重量問題，需輕量化；定位方面，若也可以利用傳輸過程同時有定位的效果，那即可取代掉無線電再定位的功用。

A2：設備方面，HoloLens 隨著代數演進，有輕量化的趨勢，又或許其他廠牌也會做類似之改良，團隊日後也會跟進做一些改進。

●莫懷祖組長建議

R1：因救災場域不同，哪一些建築的 BIM 模型是我們優先蒐集的對象，研究團隊可以先行定義優先對象，實際運用場合往下延伸至實際使用。問題：如何作圖資模型蒐集，優先需要蒐集哪些資料。方向性建議

A1：針對一般建築物，初步想法為透過一些輔助工具，類似大量製造，同類型之建築物即可快速建造 BIM 模型，特殊建築像林家花園未來尚有探討 BIM 模之復原或設立之方法。

R2：建議研究團隊可以將訓練及實際救災差距縮小，可透過裝備整合、研發。新系統易淪為展示，如何從訓練到救災化，場域提供啟發需多著墨。

A2：透過設備記錄使用者的行為，事後檢討並提出改進方案。未來會參考相關文獻，採用虛擬技術輔助，精進訓練和實際使用的連結。

R3：多組人員訊息整合，指揮官 VR 和搜救人員 XR，實體資料整合，其他組搜救人員訊息，決策及訊息都是分散的，建議可以聯合指揮及決策、共享所有資訊決策。

A3：會參考多人遊戲相關既定做法，亦會參考他人操作，並在系統做一些規劃，如慣用語或手勢等，保持通訊暢通，以提升效率。

R4：現場實際的探測器或標定位置，是否在特定場所設置標示設備，例如基本位置的告示標示，前往現場即可直接調取圖資等。

A4：BIM 的定位相當準確，會在透過一些工具或是建築物之明顯特徵去做定位之確認，日後會再參考相關文獻。

●鄭安平副局長提問建議

R1：計畫已朝向消防訓練輔助用，營建署現有法規無法追朔舊有建物，舊建物有困難，需要回歸至實兵演練進行訓練。

R2：BIM 的建模資料若能增加新場域，場域感測器如何裝設、更新？需要作一些預定，以避免影響感測之效果。

A2：感測器目前的作法為透過平面圖設定，將感測器置於建築物特定位子，使其自動調閱資料，透過位子將資料串連。

R3：現場指揮官，搜救隊員，事實上定位於消防訓練輔助，入室搜救，回報資訊，效果較為簡單，增加動作設計元素：破門、破窗、破壞結構等。滅火情境：關閉開關、佈設水線等等。系統動作增加提示、選項等。

A3：動作提示目前是呈現在 XR 螢幕上，中間部分顯示目前材質，未來會再研究及改良，使其呈現提示動作。

R4：消防建物消防設備加入 BIM 模型，既有資料套入模型，使其達到提醒之效果，並提供消防搶救使用。

A4：只要模型裡有消防設備，轉入 BIM 模型皆可在 XR 及 VR 上看到。

R5：穿戴設備需要考量穿戴後舒適感，如：有無鬆緊帶、行走暈眩等問題。能否透過程式減少晃動或減震。

R6：增加系統角色：入室搜救帶隊官。增加考評機制，訓練輔助系統以提供參考。

A6：未來也會加入分數計算等功能。

●戴荏國科長建議

R1：訓練展示影片，如：流程、情境，使人有更加的想像空間。

R2：環境網路延遲訊號，造成使用上抗拒，提供相關訊號依據，使承接者及使用者心理準備。

A2：會再確認頻寬問題，會再參考此部分該如何補強，使其即使在訊號不好時，仍可呈現重要資訊。

R3：同仁穿戴之空氣呼吸器配戴時間約為 20~30 分鐘，XR 之使用

上需要有相關界定。

A3：會再限制使用時間。

R4：眼鏡資訊需精簡，畫面太多資訊是否會造成負擔；當感測器特殊條件達到時，跳出視窗提供資訊提醒（例如火場達到閃燃溫度時，跳出警示畫面只是人員撤離）。

A4：資訊展示會再調整，簡化或縮小資訊，重要資訊另外出現。

●陳軍佑大隊長建議

R1：以訓練為主的話，建議與新北防災訓練結合。

A1：ERCA 為種類式的訓練模式，那我們希望以動態的方式，搭配 BIM 模型即可獲取資訊及使用，透過 3D 模型與實際場景配合以了解內部狀況。

R2：XR 眼鏡與消防面罩的結合是否需要作改良？

●鄭安平副局長補充建議

R1：ERCA 較屬於指揮訓練或兵棋推演，周老師則是著重在 BIM 建模資訊連接 XR，用於救災資訊使用。盡量作區隔，消防訓練不嫌少，不同平台做不同的訓練，讓消防機關在做救災訓練上，有一些實質上的幫助。

●蔡綽芳組長建議

R1：先驅性計畫，分成兩部分。BIM 進行模擬，未來建築的 BIM 模型輔助甲種乙種圖。結合社會住宅，使其成為場域的應用對象。

R2：因目前慢慢從現場應用轉為訓練應用，發現其存在落差，參考新北的訓練，分割我們能夠提供的訓練。

R2：與 ERCA 分割，或是功能上的互補，後續也會再進行研究。

R3：利用消防機器人傳遞火場資訊，取代初期消防隊員資訊探測拋轉。

A3：日後亦會再研究。

R4：可發展一邊進入現場一邊建置場景的相關技術？

A4：相當於自駕車，邊行走邊感測，然後即時做出地圖，然而他不

是靠高精確度的模型去做的，但為來仍能有這方面的發展。

壹拾捌、散會 11:20AM

附錄六 XR 消防訓練輔助系統操作手冊

應用建築資訊建模(BIM)及延展實境(XR)

技術於消防救災輔助系統研究

附錄六：BIM-XR 消防訓練輔助

系統操作手冊

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 111 年 12 月

目次

目次.....	i
圖次.....	ii
第一章 系統軟硬體架構.....	1
第一節 整體架構.....	1
第二節 各程式軟硬體需求.....	3
第二章 操作步驟.....	5
第一節 從 BIM 萃取資訊	6
第二節 於 3ds Max 執行自動轉檔	7
第三節 置放感測器與自動上傳監測數據.....	7
第四節 開啟 Unity/XR/DB 服務	9
第五節 指揮官操作 VR 介面與互動	10
第六節 現場隊員操作 XR 介面與互動	11
第三章 資料庫表格結構.....	14

圖次

圖 1-1 資料庫與本系統各程式之間的關係	1
圖 2-1 整體系統運作流程	5
圖 2-2 程式調整逃生路線之介面	6
圖 2-3 自動轉檔程式示範	7
圖 2-4 Arduino 感測器裝置實景	8
圖 2-5 Arduino 感測器在 XR 的顯示	9
圖 2-6 桃園市龜山區某長照中心內啟動 XR 系統	10
圖 2-7 VR 的主畫面	11
圖 2-8 VR 的感測器資料庫查詢介面	11
圖 2-9 XR 的路線顯示及感測器數值	12
圖 2-10 XR 的路線顯示及感測器數值	12
圖 2-11 XR 透過手勢(下方選單)練習找到與關閉瓦斯	13

第一章 系統軟硬體架構

第一節 整體架構

本研究所開發的軟體名為 BIM-XR 系統，如圖 1-1 所示，具有四大軟體模組與資料庫系統，說明如後：

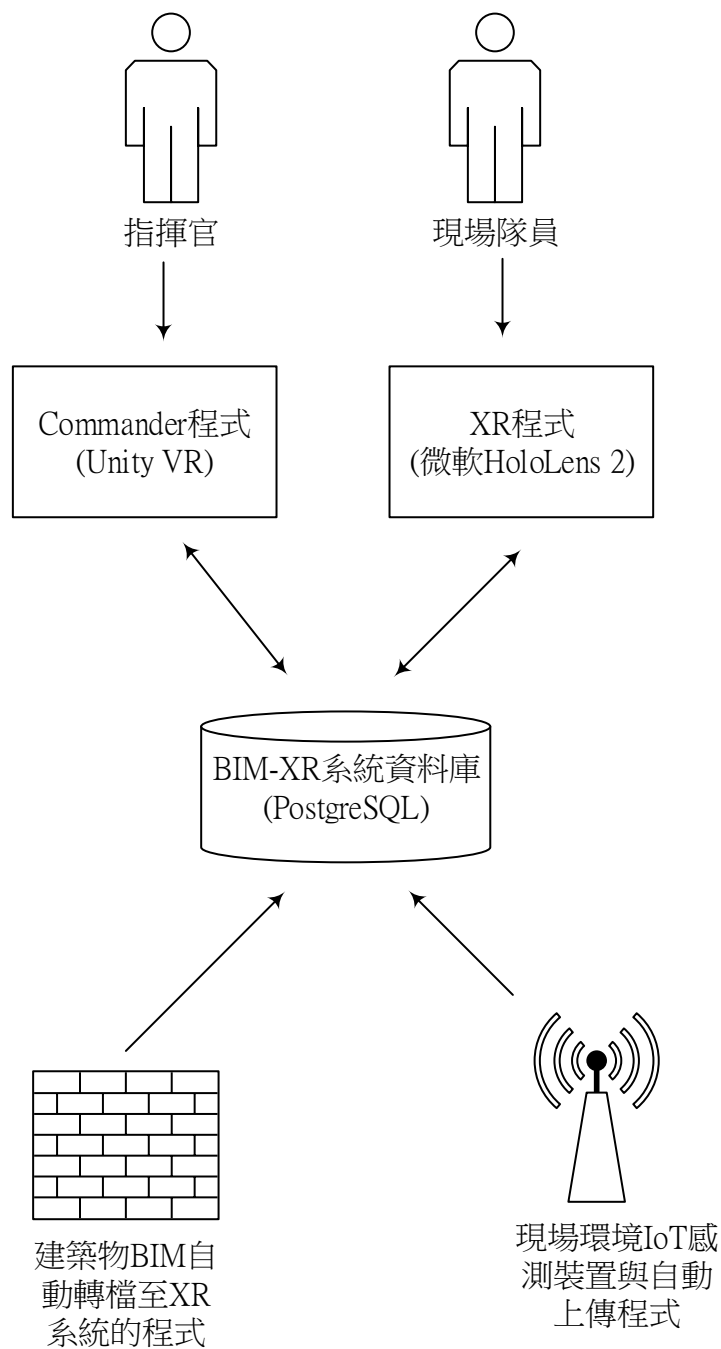


圖 1-1 資料庫與本系統各程式之間的關係

資料來源：本研究整理

- 建築物 BIM 自動轉檔至 XR 系統的程序：又稱自動建置程式，讓使用者提供某一層樓的 BIM 檔案，該程式會自動萃取所需資料，將幾何、材質等 BIM 資料儲存至資料庫中，接著以 python 控制螢幕及滑鼠，呼叫 3Ds Max 的場景建置功能，將 XR 系統所需資料準備妥適。
 - 此程式為單向對資料庫提供資料
 - 此程式建議由系統管理員執行，一棟建築僅需要執行一次
- 現場環境 IoT 感測裝置與自動上傳程式：俗稱 Arduino 程式，插上電源，裝置開始量測環境數據，並每分鐘透過 Wi-Fi 上傳資料至資料庫中，目前已量得一個月以上的紀錄，中間並無任何問題
 - 此程式為單向對資料庫提供資料
 - 此程式理論上使用者不用操作，但一開始需要設定位置
- 指揮官所操作的 Commander 程式：為 VR 版本，其 3D 場景資料來自 BIM，一旦 BIM-XR 主程式需要任何幾何資料，也必須透過本程式取得。
 - 此程式與資料庫為雙向，實體世界資料收集或分析後，需要到虛擬世界呈現者，會經由此管道來顯示；指揮官也可直接在此程式下達指令，交由虛擬世界，或實體世界另一同仁負責。
 - 此程式的首要使用者為指揮官，因使用 Unity 技術，可直接在電腦螢幕上顯示，或可透過 VR 頭盔式顯示器來呈現。
- 現場隊員穿戴 HoloLens 眼鏡所需要的程式：俗稱 XR 程式，為本系統最主要的程式，除提供隊員即時座標與面向的向量，也能在實體世界的影像中，堆疊出虛擬世界的資訊，達到虛實交錯的境界。
 - 此程式與資料庫為雙向，大部分來自 Arduino 與 BIM 資料，在指定位置需要呈現文數字，然而，使用者也可透過眼鏡與手勢的操作，將部分現場觀測而得的資料上傳資料庫，再與其他人共享。
 - 此程式的首要使用者為消防隊員，或受訓練者。

第二節 各程式軟硬體需求

綜整各程式之軟硬體需求如下：

●資料庫系統

- 建議安裝 PostgreSQL 15.0 以上
- 硬碟建議有 2GB 以上
- 資料庫建議置放在可對外聯網的伺服器上，透過管控的帳號與密碼來連線
- 目前置放在中央大學校園內，ip 為 140.115.60.153

●自動轉檔程式

- 需要 python 3.7 以上的環境
- 只能安裝 Revit 2021 的版本
- 需要安裝 Unity 2021.3.5f1 以上的版本
- 需要安裝 3ds Max 2022 以上的版本，具預設的材質庫
- 一個場景只須執行本程式一次，可在系統管理員個人電腦執行，需要連線至資料庫伺服器

●Commander 程式

- 建議在有圖形顯示卡的電腦執行
- 不須安裝 Revit 或 3ds Max，只需要能上網
- 由指揮官操作

●XR 程式

- 本程式在微軟 HoloLens 2 內部執行
- 需要能上網，具 NET Framework 資料庫連線能力
- 由消防隊員穿戴與透過手勢執行，需要正常光源
- 視使用情境，一般不接外部電源且充飽電情況下，可使用 2-3 小時

●Arduino 程式

- 需要置放在有 Wi-Fi 的室內環境，Wi-Fi 連線資訊必須事先給定
- 需要外部提供 USB 電源，可使用行動電源來供應
- 插電後，不需要人為操作

第二章 操作步驟

整體系統流程如圖 2-1 所示：

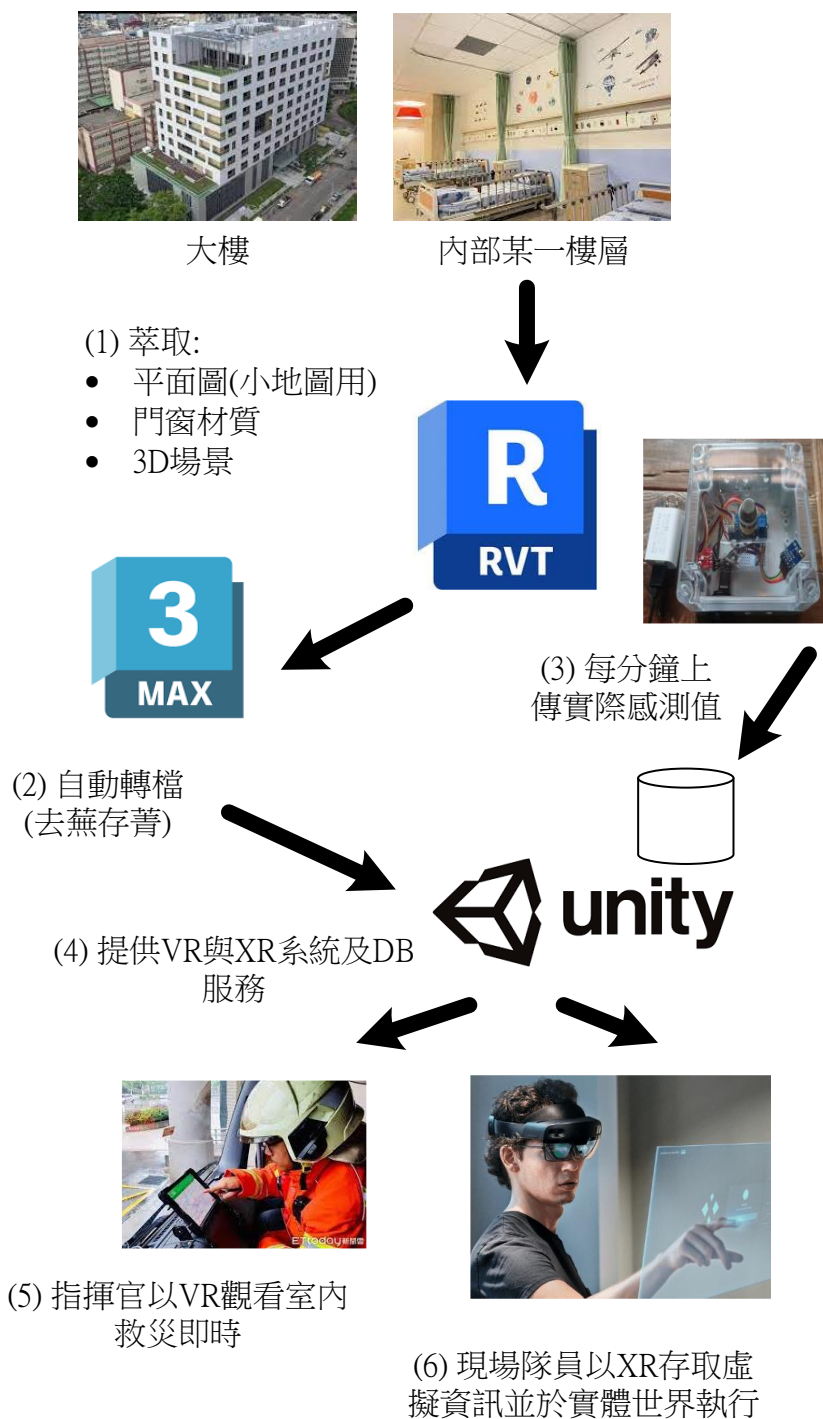


圖 2-1 整體系統運作流程

以下各節分別說明詳細步驟。

第一節 從 BIM 萃取資訊

本研究理想狀況為任何建築物之 BIM Revit 檔案，皆可轉型至 XR 系統，但實際上仍有一些限制，列舉如下：

- 由於一棟建築 BIM 檔案資訊過多，實務上會求 XR 系統效能，建議一次只轉入一層樓的 BIM 資訊。
- 該層樓之消防設備，如水箱、消防器材、瓦斯或電源總開關所對應的 BIM 建築元件應力求清晰，方便後續於 XR 呈現。
- 關於既有的逃生路線，因絕大部分 BIM 模型並無建置此資訊，本研究開發另一小工具程式如圖 2-2，可讓使用者調整逃生路線的各個轉折點，形成在 XR 系統之綠色逃生路線。
- 建議使用 Revit 2021 的版本。

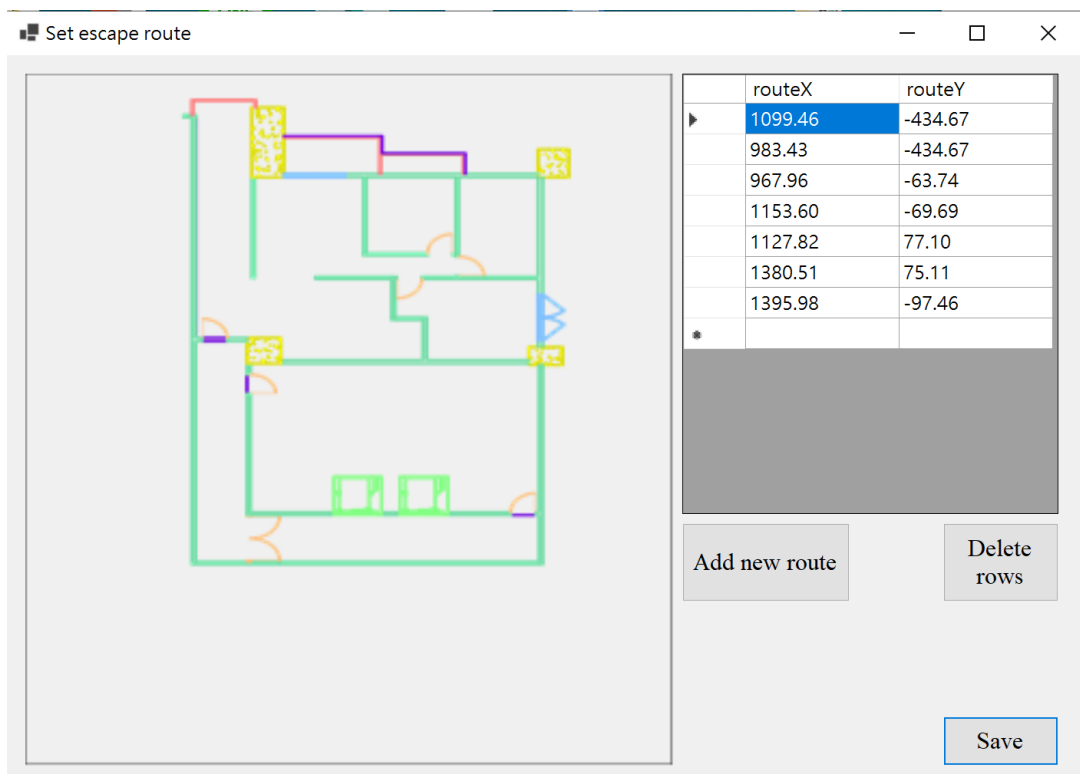


圖 2-2 程式調整逃生路線之介面

- 選擇該樓層的座標原點(0,0,0)，通常為樓梯上來處，或大門入口處，可

選擇門檻線的中心點，於小工具程式內標註，此時。XR 系統與 BIM 程式的所有座標均會自動對齊，座向預設上方為正北。

- 確認可能會被消防隊員破門或破窗而入的建築元件，其材質資訊已輸入無誤。

第二節 於 3ds Max 執行自動轉檔

由於 BIM 資訊過於豐富，若全部轉入 XR 系統，可能使得 XR 畫面遲鈍，因此，實務上會將 BIM 透過 3ds Max 做二次轉檔，保留正確的 3D 幾何形狀與所有元件代號，如圖 2-3 所示。

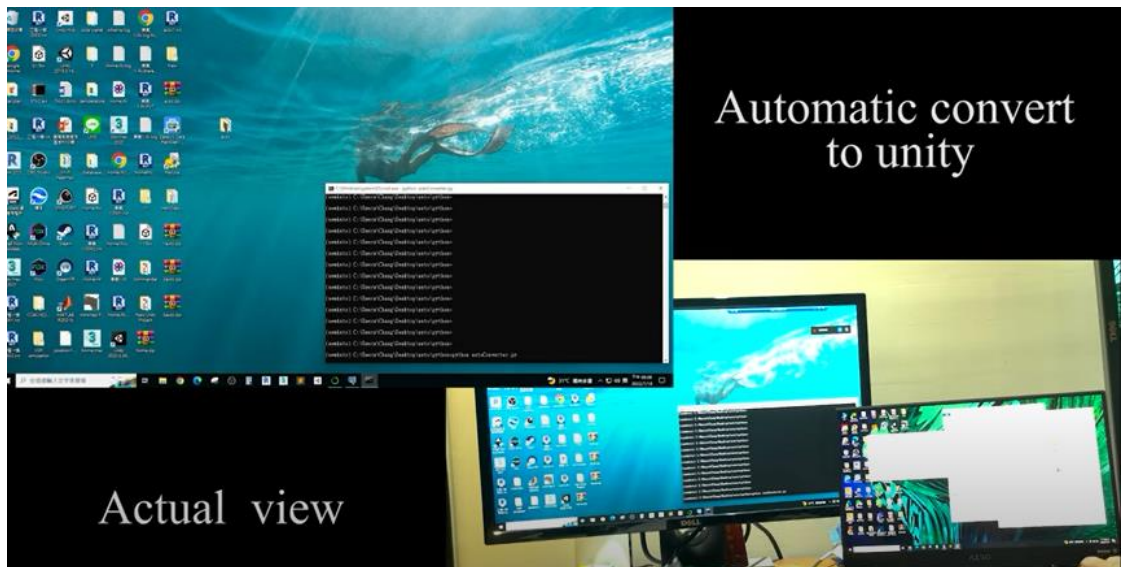


圖 2-3 自動轉檔程式示範

此自動轉檔程式非鎖定特別建築物，只要建築物樓層符合上述條件，透過自行開發的 Python (autoConverter.py)便可獲得適用於 XR 系統的 3D 模型。經研究團隊量測，一般約數百 MB 的 RVT 檔案，此轉檔程式可在五分鐘內轉置完畢。

第三節 置放感測器與自動上傳監測數據

為了示範數位雙生系統，研究團隊另行開發 Arduino 裝置，可連 Wi-Fi，但需要 USB 供電，可偵測溫濕度、照度、煙霧等環境數據，並每分鐘自動上傳至指定資料庫，供後續 XR 系統運用。如圖 2-4 所示，已經長達三星期以上、不斷

電的測試，資料庫端均可正常接收資料。

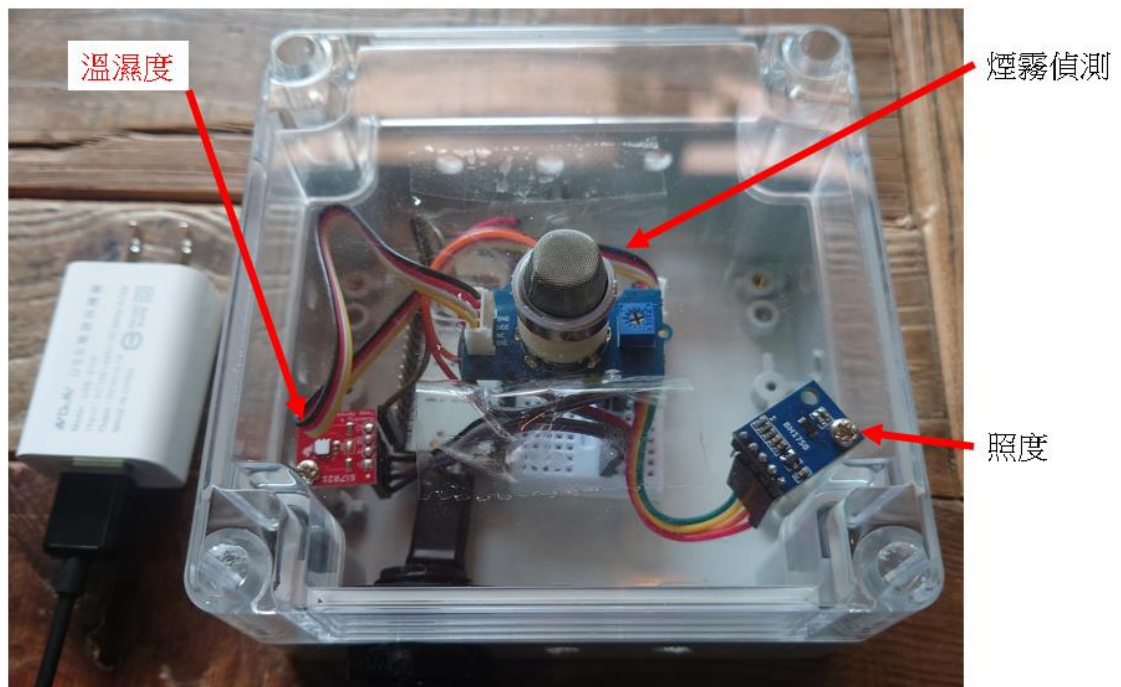


圖 2-4 Arduino 感測器裝置實景

在佈署本裝置的部分，因 XR 系統在呈現時，會建議在眼睛舒適之處顯示環境資訊(如感測器值)，又因 XR 內本就有實體世界的各種影像，故，事實上沒有必要在 XR 系統重新繪製感測器的示意圖，僅需要呈現數值。此 Arduino 可放置在實體世界任何位置，可高可低，只要 Wi-Fi 收訊良好，但其在 X/Y 平面上的座標，必須在 BIM 內透過小程式標註，如此一來，實體世界的實時環境數據，便會先到資料庫暫存，而 XR 系統會在虛擬世界與實體世界 X/Y 座標疊合處，在眼睛舒適高度顯示此感測數值，如圖 2-5 所示。

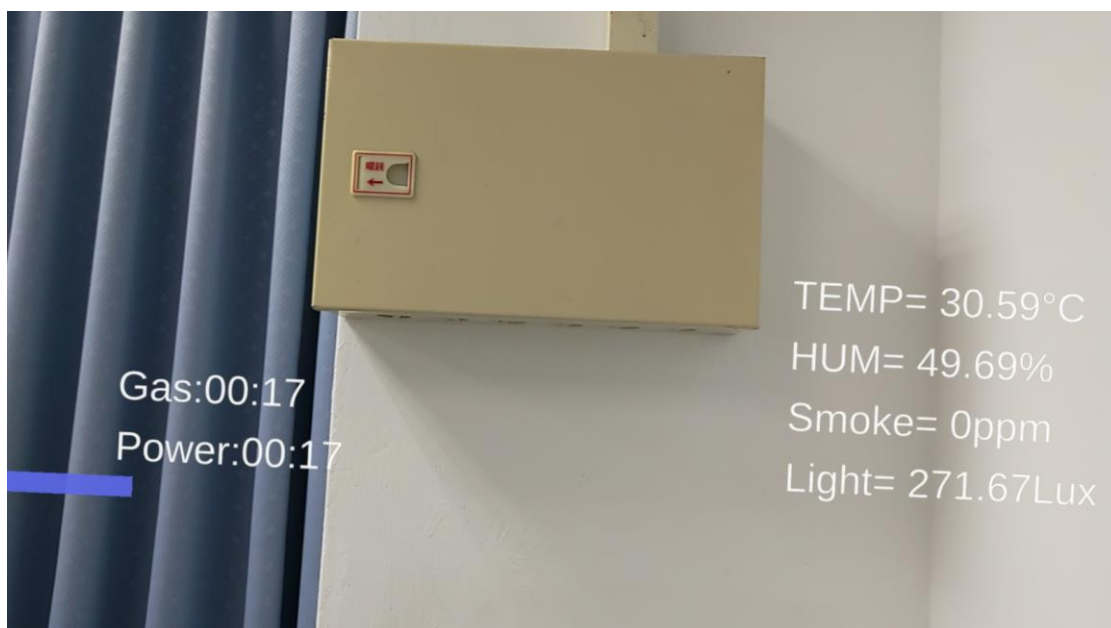


圖 2-5 Arduino 感測器在 XR 的顯示

第四節 開啟 Unity/XR/DB 服務

如圖 2-6 所示，在現場一般來說可使用一台中高階筆電，同時扮演伺服器端資料庫，加 XR/VR 系統的程式運作處，並用手機網路分享的功能，使得筆電、XR 眼鏡、數個 Arduino 裝置(使用行動電源供電)上網進行資料共享。若研究團隊至一陌生的大教室，連 BIM 模型也無，必須現場重建，估計需要花 1-1.5 小時，繪製 BIM、轉檔、設定初始參數，啟動相關服務等。



圖 2-6 桃園市龜山區某長照中心內啟動 XR 系統

第五節 指揮官操作 VR 介面與互動

在指揮官部分，畫面較簡潔，並非 XR 眼鏡內的影像即時傳至指揮官 VR，因這樣設計將佔用較多的頻寬。VR 的介面如圖 2-7 所示，右下角為所追蹤的消防隊員之即時位置，包含眼睛視角的方位向量，中間的畫面可謂 BIM 模型直接轉到 Unity 模型的成果，雖然稍不精緻，但其外形幾何從 BIM 得到，尺寸相當精確，左上角為感測器數值。

圖 2-8 為 VR 介面在查詢感測器歷史數據之畫面，指揮官具有較多功能，可查閱整個火場的所有資訊，並可在 VR 介面設定新的逃生路線，讓消防隊員看到。

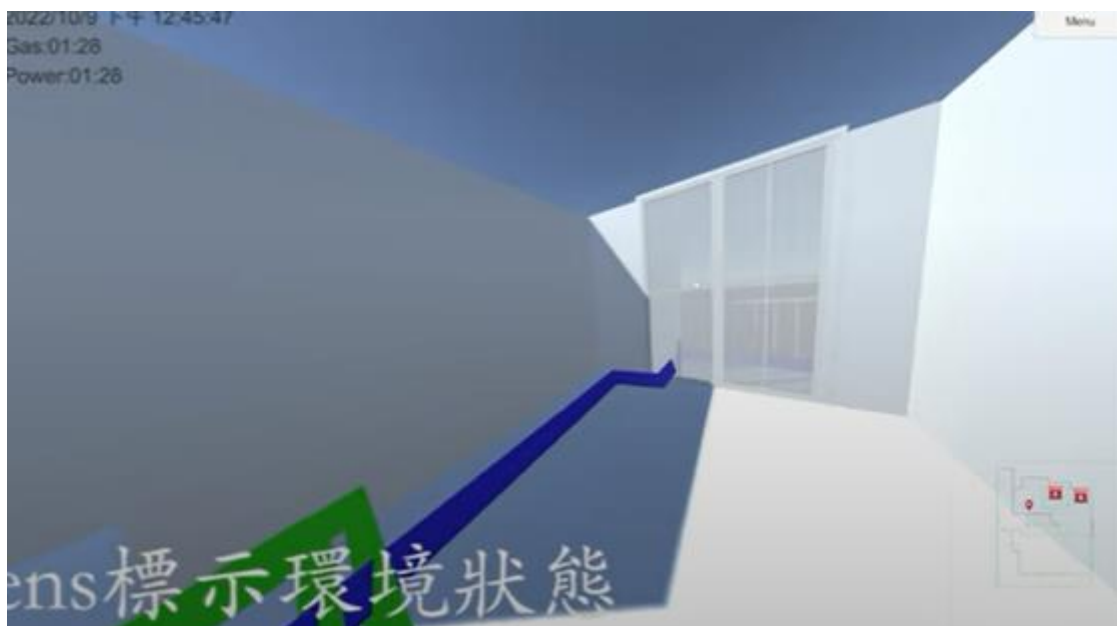


圖 2-7 VR 的主畫面

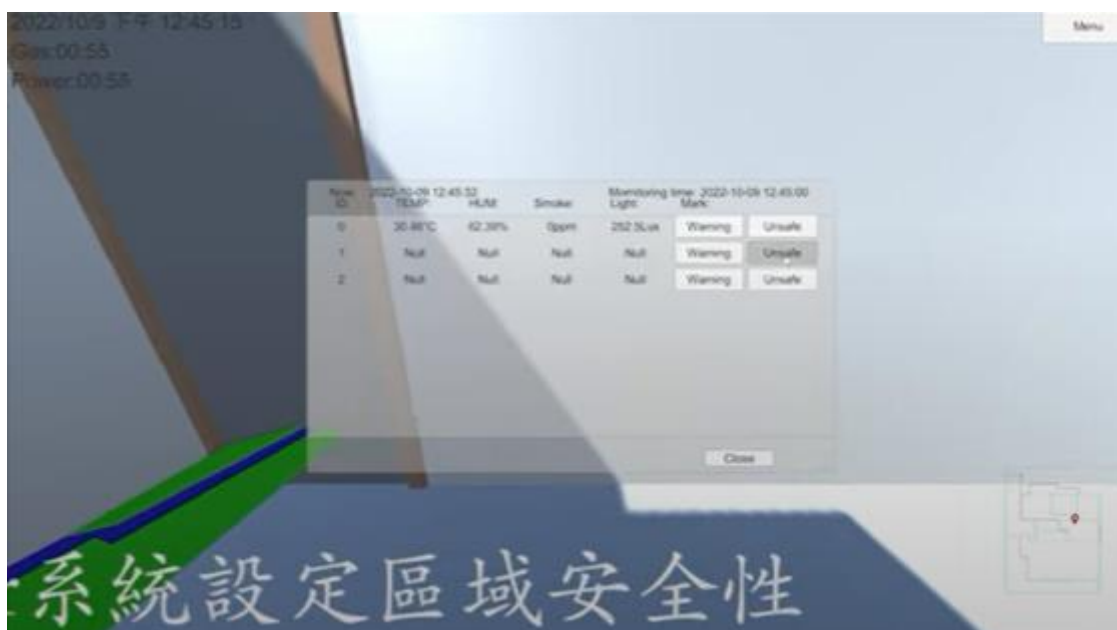


圖 2-8 VR 的感測器資料庫查詢介面

第六節 現場隊員操作 XR 介面與互動

現場消防隊員的訓練任務有三，第一為瞭解室內空間佈局，包含感測器數值，如圖 2-9 的白色字體部分；第二為瞭解或跟隨逃生路線，如圖 2-10 綠色線或藍色箭頭，其中，綠色線代表建築物既定逃生路線，藍色表示為指揮官或電腦提供，箭頭出現代表為跟隨模式，因使用者即使已在逃生錄線上，仍有兩方向，仍

可能不知選哪一方向能順利逃出，因 XR 系統可知消防隊員的眼鏡正前方向量，換言之即使在逃生線上，電腦仍能指出哪一方位才是正確路線，故以箭頭表示。消防隊員的第三任務，為標示某區域為危險區域，或到指定地點以手勢執行某動作，例如指揮官指示，跟隨藍線走到瓦斯總開關處，以特殊手勢代表關閉瓦斯，XR 系統並會紀錄耗用時間，如圖 2-11 所示。

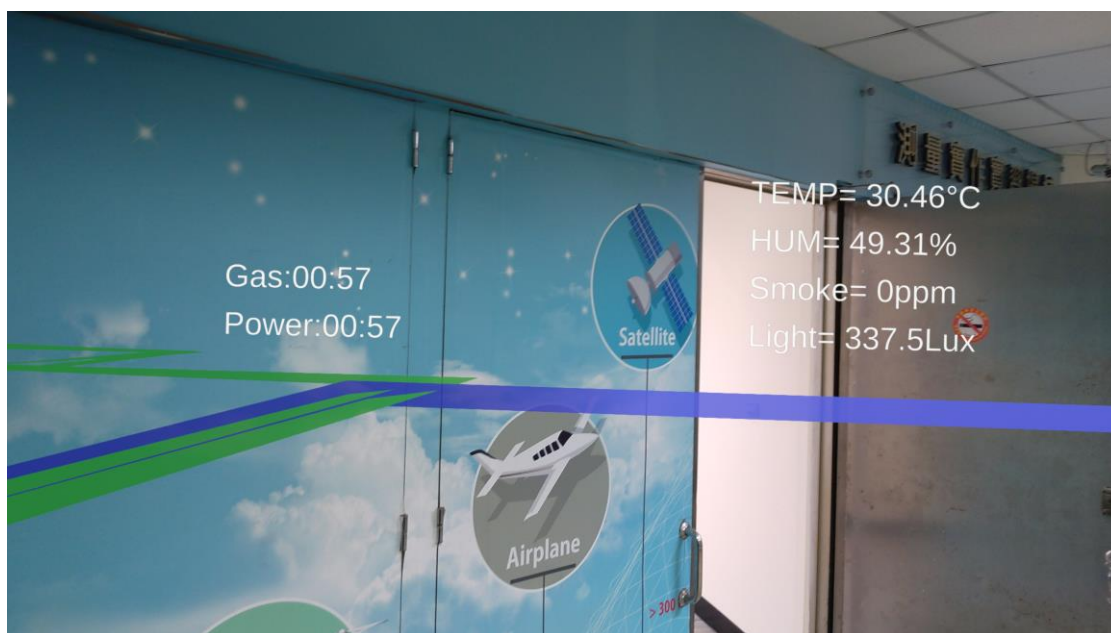


圖 2-9 XR 的路線顯示及感測器數值

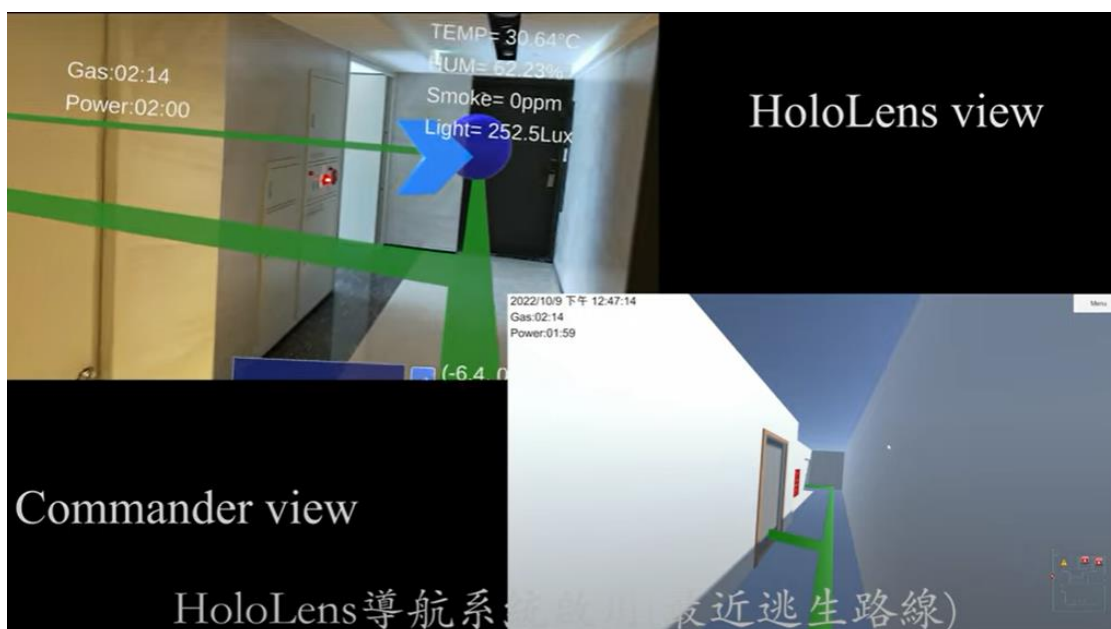


圖 2-10 XR 的路線顯示及感測器數值



圖 2-11 XR 透過手勢(下方選單)練習找到與關閉瓦斯

某動作，例如指揮官指示，跟隨藍線走到瓦斯總開關處，以特殊手勢代表關閉瓦斯，XR 系統並會紀錄耗用時間，如圖 2-11 所示。

第三章 資料庫表格結構

表格名稱：dataforHoloLens

英文欄位名：資料型別	說明
data : text	●Commander ray cast 材質傳給 HoloLens 顯示材質和破壞器具用 ●此資料表除非 commander 和 HoloLens 同時開啟才会有數據，避免 HoloLens 還沒載入場景就有材質和破壞器具

表格名稱：hololenclosegasandpower + yyyyMMddHHmm

英文欄位名：資料型別	說明
closegas : text	記錄隊員需要多少時間才能關閉瓦斯總開關
closepower : text	記錄隊員需要多少時間才能關閉電源總開關

表格名稱：hololeninformation + yyyyMMddHHmm

英文欄位名：資料型別	說明
datetime : timestamp	記錄穿戴眼鏡者之當下時間
position : text	記錄穿戴眼鏡者之當下位置
rotation : text	記錄穿戴眼鏡者之當下面向向量

例如：【11,28,2022 10:47 ; (0.1,0.0,0.1) ; (5.9,2.2,1.5)】

表格名稱：hololensituation + yyyyMMddHHmm

英文欄位名：資料型別	說明
id : text	記錄室內某點位處之狀態，是否安全等，此欄位為編號
position : text	記錄該點位的座標
notificationtime : timestamp	記錄通知時之當下時間
publisher : text	由 Commander 或 BIM-XR 程式下達的指令
category : text	記錄該點位的狀態，可為 safe 或 unsafe 或 warning 等

例如：【1；(2.0, 0.0, 2.5)；11,24,2022 20:33；HoloLens1；warning】

表格名稱：revitMaterialAndTool

英文欄位名：資料型別	說明
elementid : text	從 Ray cast element id 得到材質和破壞器具，此欄代表元件代號
material : text	記錄該元件的材質
firstpriority : text	記錄該元件最適宜搭配的消防工具
secondpriority : text	記錄該元件第二適宜搭配的消防工具
thirdpriority : text	記錄該元件第三適宜搭配的消防工具
caseNumber : text	記錄當下所屬的場景代號

表格名稱：rvtOrIfcFile

英文欄位名：資料型別	說明
caseNumber: text	哪一個場景
type : text	RVT 或 IFC 格式
3dModelFile : bytea	RVT 或 IFC 實際檔案
minimapfile : bytea	小地圖的圖形檔案(PNG 格式)
startposition : text	穿戴者開始座標
originalposition : text	場景攝影機的原點座標
naturalghasposition : text	瓦斯總開關的座標
powerposition : text	電源總開關的座標
buildingescaperoute : text	建築既有的逃生路線
computedescaperoute : text	電腦計算之路線
note : text	備註
unityFile : bytea	Unity 檔案
datetime : timestamp	異動時間

表格名稱：sensorInformation

英文欄位名：資料型別	說明
caseNumber: text	哪一個場景
id : text	感測器代號
startposition : text	感測器在 minimap 上的座標
originalposition : text	感測器在 3D 場景的座標
installationDatetime : timestamp	IoT 安裝的時間

例如：【1；0；(-4.12,0,3.75)；(581.19,241.74,17)；10,2,2022 03:26:58 PM】

第三章 資料庫表格結構

表格名稱：sensordata

英文欄位名：資料型別	說明
casenumberandid : text	哪一個場景與哪一個感測器
sensortype : text	感測器類型
sensorvalue : text	感測器量得值
detectiondatetime : timestamp	量測時間

例如：

001,0	smoke	0	10,2,2022 16:45
001,0	humidity	44.03	10,2,2022 16:45
001,0	temperature	27.21	10,2,2022 16:45
001,0	light	704.17	10,2,2022 16:46

參考書目

- Agrawal, A., Fischer, M., and Singh, V. (2022) Digital Twin: From Concept to Practice, ASCE Journal of Management in Engineering, 38(3), 06022001.
- Alizadehsalehia, S., Hadavib, A., and Huang, J.C. (2020). From BIM to extended reality in AEC industry, Automation in Construction, 116, 103254.
- Aranda-Mena, G. and Wakefield, R. (2006) Interoperability of building information: Myth of reality, in Proc. of the European Conference on Product and Process Modeling (ECPPM'2006), 2006, pp. 127-134.
- Bahri, H., Krcmarik, D., Moezzi, R., Kořc?, J. (2019) Efficient use of mixed reality for BIM system using Microsoft HoloLens, IFAC PapersOnLine, 52, 235-239.
- Chang, C.H., Tan, J.C., Wang, R.G., Wu, P.Y., and Chou, C.C. (2020) Sound-based indoor positioning for rescue using deep learning, building information models and virtual reality, Journal of the Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering, 32(5), 383-392.
- Chen, L.C., Wu, C.H., Shen, T.S., and Chou, C.C. (2014) The application of geometric network models and building information models (BIMs) in geospatial environments for fire-fighting simulations, Computers, Environment and Urban Systems, 45, 1-12.
- Chou, C.C., Chiang, C.T., Wu, P.Y., Chu, C.P., and Lin, C.Y. (2017) Spatiotemporal analysis and visualization of power consumption data integrated with building information models for energy savings, Resources, Conservation and Recycling, 123, 219-229.
- Chou, C.C., Jeng, A.P., Chu, C.P., Chang, C.H., and Wang, R.G. (2018) Generation and visualization of earthquake drill scripts for first responders using ontology and serious game platforms, Advanced Engineering Informatics, 38, 538-554.
- Dent, S. (2022) HTC Vive Flow app turns car rides into moving VR theme park experiences,
<https://www.engadget.com/htc-vives-latest-app-can-turn-your-car-into-a-rollercoaster-101521143.html> (Accessed: 2022/2)

- Du, J., Zou, Z., Shi, Y., and Zhao, D. (2018) Zero latency: real-time synchronization of BIM data in virtual reality for collaborative decision-making, *Automation in Construction*, 85, 51-64.
- Goode, L. (2019) Get Ready to Hear a Lot More About 'XR', <https://www.wired.com/story/what-is-xr> (Accessed: 2022/2)
- Hsieh, C.C., Liu, C.Y., Wu, P.Y., Jeng, A.P., Wang, R.G., and Chou, C.C. (2019) Building information modeling services reuse for facility management for semiconductor fabrication plants, *Automation in Construction*, 102, 270-287.
- Jeng, A.P., Wang, R.G., Wu, P.Y., Tai, J.K., Tan, J.C., and Chou, C.C. (2019) Deep learning-based smart meter data analytics for early warning of possible electrical fires, *Journal of the Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering*, 31(2), 193-204.
- Khalek, I.A., Chalhoub, J.M., and Ayer, S.K. (2019) Augmented reality for identifying maintainability concerns during design. *Adv. Civ. Eng.*, 2019.
- Khalil, M., Bergs, C., Papadopoulos, T., W?chner, R., Bletzinger, K., and Heizmann, M. (2019) "IIoT-based Fatigue Life Indication using Augmented Reality," 2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), pp. 746-751.
- Kim, H.S., Kim, S.K., Borrmann, A., and Kang, L.S. (2018) Improvement of realism of 4D objects using augmented reality objects and actual images of a construction site, *KSCE J. Civ. Eng.*, 22(8), 2735-2746.
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., Sihn, W. (2018) Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification, *IFAC PapersOnLine*, 51-11, 1016-1022.
- Liu, C.Y., Wu, P.Y., Tan, J.C., Chuang, M.L., Wang, R.G., and Chou, C.C. (2021) An automatic fire rescue deployment method using building information modeling and ontology: Taking long-term care institutes as an example, *Journal of the Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering*, 33(8), 641-651.
- Park, S., Bokijonov, S., and Choi, Y. (2021) Review of Microsoft HoloLens Applications over the Past Five Years, *Applied Sciences*, 11(16), 7259.
- Sarwar, B.; Bajwa, I.S.; Ramzan, S.; Ramzan, B.; Kausar, M. Design and Application of Fuzzy Logic Based Fire Monitoring and Warning Systems for Smart Buildings. *Symmetry* 2018, 10, 615.

- Singh, D., Sharma, N., Gupta, M., & Sharma, S. (2017). Development of System for Early Fire Detection using Arduino UNO.
- Sowah, R.; K. O. Ampadu, A. Ofoli, K. Koumadi, G. A. Mills and J. Nortey, "Design and implementation of a fire detection and control system for automobiles using fuzzy logic," 2016 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 2016, pp. 1-8, doi: 10.1109/IAS.2016.7731880.
- Wired Brand Lab. (2017) Creating a building's 'digital twin', <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/creating-buildings-digital-twin> (Accessed: 2022/2)
- Wu, M., Dai, S.L., Yang, C. (2020) Mixed Reality Enhanced User Interactive Path Planning for Omnidirectional Mobile Robot, Applied Sciences, 10(3), 113.
- Wu, S., Hou, L., and Zhang, G. (2021) Integrated Application of BIM and eXtended Reality Technology: A Review, Classification and Outlook. In: Toledo Santos, E., Scheer, S. (eds) Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE 2020), Lecture Notes in Civil Engineering, vol 98. Springer, Cham.
- 臺北市政府都市發展局. (2022) <https://smartcity.taipei/projdetail/295> (accessed Jun. 20, 2022)
- 蘇嬛嬛, 廖挺鈞, 葉啟賢, 張文奇, 王如觀, 張智雄, 周建成, 趙寬居. (2021) 核能發電廠輻射偵檢與工程資訊視覺化作法, 台電工程月刊, 877, 93-.
- 游坤明, 陳昀暄(2019). 早期火災探測預警人工智慧技術與消防救災結合應用研究, 內政部建築研究所, 臺灣。
- OMRON 技術手冊(2019), OMRON, 臺灣。網址：<https://www.omron.com.tw/>

**應用建築資訊建模(BIM)及延展實境(XR)技術於消防
救災輔助系統研究**

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：王榮進、周建成、厲妮妮、劉青峰、陳士明、
王如觀、李函玲、蘇于翔、王乃儀

出版年月：111年12月

版次：第1版

ISBN：978-626-7138-36-6