

逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：

跨平台整合地面光達與無人飛行器掃描 並導入 Unity 與文資應用 —以南屯萬和宮為例

The Application of Unity and Cultural Resource Imported by
Cross-Platform Integrate Terrestrial LiDAR with UAV Scanning
Models -A Case Study of Taichung Wanhe Temple

作者：黃瓊萱

系級：建築學士學位學程五年級

學號：D0338987

開課老師：陳上元老師

課程名稱：建築設計(十)

開課系所：建築學士學位學程

開課學年：107 學年度 第2學期

摘 要

BIM 與相關技術應用，已經是建築智慧化的重要發展議題。本成果以無人飛行器掃描、地面光達雷射掃描，至建模的流程與應用研究，作為研究重點。

面對建築資訊模型，也就是 BIM 趨勢，建築業上中下游；從設計、施工到最後的管理端，都被期許要做到最精密的、最少誤差的整合，而3D 掃瞄儀器是目前普遍使用的測量繪製工具也是作為建築監測不可或缺的角色之一。建物掃描工作多使用單一掃描的平台做建模處理，然而建築物應透過不同尺度之掃描方式，並且整合各式測量模型，才能完整得到該建物的所有資訊。

位於南屯區的萬和宮為台中市歷史最悠久的廟宇，不僅建物具深厚的文化價值，周邊因當地昔日打製犁頭等農具店舖聚集而形成附有歷史意義的「犁頭店街」。尺度從單棟建物至整片街廓並非是單一3D 掃描方法即可掃描建置完成的，本研究藉此機會實作與討論結合地面光達掃描與無人飛行器空載傾斜攝影掃描建模的可行性，並導入 Unity 遊戲設計軟體應用，展示它們在文創事業應用的無窮潛力。

關鍵詞：光學雷達、無人飛行器、Unity、文資、Recap

ABSTRACT

BIM and related technology applications have become an important development issue for building intelligence. The results are based on unmanned aerial vehicle scanning, ground-light laser scanning, and modeling process and application research.

Facing the building information model, that is, the BIM, it is expected to do the most precise and least error integration, the construction industries from the middle and lower reaches; from design, construction to the final management, and 3D scanning instruments are currently common.

The building scanning work uses a single scanning platform for modeling processing. However, the building should scan all the different scales and integrate various measurement models to obtain all the information of the building. The measurement mapping tools can also use for an integral part of building monitoring.

The Wanhe Temple in Nantun District is the oldest temple in Taichung City. Not only does it have a deep cultural value, but the surrounding area has also been built with farming appliance shops such as plowshares shops. The scale from a building to the whole street blocks cannot be scanned and built by a single 3D mapping method.

This study takes this opportunity to implement and discuss the feasibility of combining ground-light scanning and unmanned aerial vehicle photography modeling. And introduce it into the Unity game design software application to demonstrate their infinite potential in the application of culture and creativity.

Keywords: LiDAR, UAV, Unity, culture and creativity, Recap

目 錄

摘 要	2
ABSTRACT	3
目 錄	4
圖片目錄	6
表格目錄	9
第一章 緒論	10
1-1 研究動機及目的	10
1-2 研究範圍與內容	13
1-3 研究方法與流程	14
第二章 文獻回顧	16
2-1 點雲	19
2-2 地面光達掃描	20
2-3 雷射掃描	22
2-4 航空傾斜攝影掃描	23
2-5 無人飛行器空載光達掃描	25
2-6 Unity 遊戲開發引擎	25
2-7 無人飛行器	28
2-8 CloudCompare	29
2-9 萬和宮與犁頭店街	33
2-10 小結	33
第三章 理論與方法	34
3-1 選擇適用硬體	34
3-2 選擇無人機適用軟體	35
3-3 選擇3D 點雲後製軟體	36

3-4 小結	37
3-5 地面光達 FARO X330	38
3-6 地面光達擺設須知	39
3-7 地面光達掃描程序	42
3-8 地面光達掃描品質設定	43
3-9 地面光達掃描後製流程	44
3-10 東海大學衛理會館地面光達掃描案例小結	46
3-11 無人飛行器 DJI SPARK 曉	48
3-12 無人飛行器飛行前準備	49
3-13 萬和宮光達掃描與無人飛行器掃描	51
3-14 Pix4D Capture 軟體操作	53
3-15 Pix4D Mapper 檔案輸出	55
3-16 Autodesk ReCap 點雲模型建立	59
3-17 CloudCompare 模型整合	75
3-18 Unity 遊戲引擎	86
3-19 小結	106
第四章 結論與建議	107
4-1 結論	107
4-2 建議	108
4-3 總結	109
參考文獻	111

圖片目錄

圖1-1-1 地面光達點雲測繪圖	11
圖1-1-2 無人飛行器測繪圖	11
圖1-2-1 研究範圍圖	13
圖1-3-1 研究流程	14
圖2-1-1 一份由點雲集合出來的3D模型資料	19
圖2-2-1 地載光達量測示意圖	20
圖2-2-2 點雲測繪資訊圖	21
圖2-4-1 連續性空載傾斜攝影	23
圖2-4-2 單幅式空載傾斜攝影	24
圖2-6-1 模型匯入 UNITY 之工作流程	26
圖3-5-1 FARO X330圖3-5-2 東海大學衛理會館	38
圖3-6-1 地面光達儀視線擺設	39
圖3-6-2 掃描對象的角度	40
圖3-6-3 避免分隔線 (資料來源:FARO.COM)	40
圖3-6-4 避免分隔線	41
圖3-6-5 共軛球擺設範例	41
圖3-6-6 共軛球固定點	41
圖3-7-1 可視化的點雲資料	42
圖3-8-1 光達掃描品質設定 (資料來源:FARO.COM)	44
圖3-9-1 選取共軛球進行拼接作業	45
圖3-9-2 裁切點雲資料	45
圖3-9-3 資料上傳 WEBSHARE 成果	46
圖3-10-1 光達掃描製作模型流程圖	47
圖3-11-1 SPARK 全能套裝內容	48
圖3-12-1 UAV FORECAST 介面	49
圖3-12-2 禁飛與限高區域範圍	50
圖3-13-1 進行地面光達掃描作業	51
圖3-13-2 進行無人飛行器掃描作業	52
圖3-13-3 進行無人飛行器掃描作業	52
圖3-14-1 萬和宮無人飛行器掃描水平路徑	53
圖3-14-2 PIX4D MAPPER CLOUD 介面	53
圖3-14-3 PIX4D MAPPER DESKTOP 介面	54
圖3-14-4 運算後的光雲介面	54
圖3-15-1 最後產出的報告表	55
圖3-15-2 大綱	55
圖3-15-3 掃描品質確認	56
圖3-15-4 疊圖程度圖	56
圖3-15-5 正射影像與 DSM 圖	57
圖3-15-6 路徑與重點對照圖	58
圖3-16-1 教育版本下載畫面	59
圖3-16-2 RECAP PHOTO 起始介面	60
圖3-16-3 照片匯入介面	60
圖3-16-4 專案建造視窗	61
圖3-16-5 座標系統選擇視窗	61
圖3-16-6 創建專案視窗	62
圖3-16-7 雲端點雲建模處理中	62
圖3-16-8 雲端建模成功視窗	63
圖3-16-9 建模成功之網格模型	63
圖3-16-10 網面圖形資料	64
圖3-16-11 匯出視窗	64

圖3-16- 12 匯出檔案全種類	65
圖3-16- 13 可相容 RECAP PRO 的檔案種類	65
圖3-16- 14 RECAP PRO 起始介面	66
圖3-16- 15 匯入建模資料視窗	66
圖3-16- 16 地面光達點雲資料	67
圖3-16- 17 點雲資料匯入設定	67
圖3-16- 18 點雲資料自動登錄等待視窗	68
圖3-16- 19 自動登錄成功通知視窗	68
圖3-16- 20 手動登錄教學視窗	69
圖3-16- 21 手動登錄視窗	69
圖3-16- 22 點雲模型視窗室內	70
圖3-16- 23 點雲模型視窗室外	70
圖3-16- 24 某一站點照片	71
圖3-16- 25 點雲精準度報告	71
圖3-16- 26 匯入檔案視窗	72
圖3-16- 27 地面光達與無人飛行器點雲資料登錄	72
圖3-16- 28 無人飛行器點雲資料登錄	73
圖3-16- 29 登錄結果同意視窗	73
圖3-16- 30 登錄不精準的點雲模型預覽	74
圖3-17- 1 可一次輸入大量點雲檔案	75
圖3-17- 2 合併點雲資訊	75
圖3-17- 3 SCALAR FIELDS 畫面	76
圖3-17- 4 RGB 點雲畫面	76
圖3-17- 5 匯入無人飛行器模型	77
圖3-17- 6 無人飛行器點雲模型	77
圖3-17- 7 兩個點雲模型	78
圖3-17- 8 移動及旋轉選項	78
圖3-17- 9 裁減點雲	79
圖3-17- 10 裁減點雲2	79
圖3-17- 11 裁剪後之地面光達掃描儀點雲模型	80
圖3-17- 12 兩個點雲模型交疊	80
圖3-17- 13 進行 NORMAL/COMPUTE 運算	81
圖3-17- 14 進行 NORMAL/COMPUTE 運算	81
圖3-17- 15 POISSON RECON 運算	82
圖3-17- 16 設定視窗	82
圖3-17- 17 進階設定視窗	83
圖3-17- 18 SF DISPLAY PARAMS 更改	83
圖3-17- 19 調整後的模型樣貌	84
圖3-17- 20 輸出調整後的模型	84
圖3-17- 21 輸出調整後的模型2	85
圖3-17- 22 輸出 FBX 檔案	85
圖3-18- 1 UNITY 官方下載網頁	86
圖3-18- 2 建置資料夾與按鈕	87
圖3-18- 3 建置三種場景	87
圖3-18- 4 建置按鈕腳本	88
圖3-18- 5 按鈕腳本內容	88
圖3-18- 6 腳本套入程式	89
圖3-18- 7 模型匯入程式	89
圖3-18- 8 材質匯入模型	90
圖3-18- 9 隱形牆製作	90
圖3-18- 10 地形編輯器	91
圖3-18- 11 ASSET STORE	91
圖3-18- 12 匯入下載材質至地形	92

圖3-18- 13 匯入人形角色	92
圖3-18- 14 套用走路動作至人行角色	93
圖3-18- 15 選擇想使用的走路動作	93
圖3-18- 16 建立碰撞物理系統	94
圖3-18- 17 套用走路腳本	94
圖3-18- 18 編寫走路腳本	95
圖3-18- 19 建立導航系統	95
圖3-18- 20 建立電視牆	96
圖3-18- 21 建立電視牆材質	96
圖3-18- 22 燈光設置	97
圖3-18- 23 開啟 VUFORIA 的 AR 掛件	97
圖3-18- 24 刪除既有相機	98
圖3-18- 25 新增並確定匯入 AR 相機	98
圖3-18- 26 VUFORIA 金鑰視窗	99
圖3-18- 27 VUFORIA 官方網站	99
圖3-18- 28 輸入金鑰	100
圖3-18- 29 管理群組	100
圖3-18- 30 上傳圖片	101
圖3-18- 31 下載圖片	101
圖3-18- 32 匯入圖片	102
圖3-18- 33 設定掃描後要出現的物件	102
圖3-18- 34 編輯掃描腳本	103
圖3-18- 35 建置感測器	103
圖3-18- 36 編輯掃描腳本成導航系統	104
圖3-18- 37 編輯觸發器腳本	104
圖3-18- 38 測試程式	105
圖3-18- 39 室內空間結果	105
圖4-3- 1 整合模型與虛擬互動示意圖	109
圖4-3- 2 萬和宮掃描示意圖	110

表格目錄

表2-2-1 市面上常用的脈衝式掃描儀與相位式掃描儀比較	21
表2-6-1 UNITY 應用案例	27
表3-1-1 硬體設備比較表	34
表3-2-1 無人飛行器應用軟體比較表	35
表3-3-1 攝影掃描法點雲後製軟體與雷射掃描法點雲資料後製軟體表	36
表3-8-1 掃描解析度設定與對應環境	43
表3-8-2 掃描品質設定與對應環境	43



第一章 緒論

1-1 研究動機及目的

面對建築資訊模型，也就是 BIM 趨勢，建築業上中下游；從設計、施工到最後的管理端，都被期許要做到最精密的、最少誤差的整合，而3D 掃瞄儀器是目前普遍使用的測量繪製工具也是作為建築監測不可或缺的角色之一。本研究計畫期望達成之新型態文創體驗，為結合無人飛行器與手機掃描於 Unity 遊戲引擎之文資新價值 (漢寶德, 2014)。

本研究目的具體項目如下：

1. 研究並選擇多種適合萬和宮與周邊犁頭店街廓的掃瞄儀器。
2. 了解並整理掃瞄儀器的原理與流程。
3. 找出並整理能夠跨平台整合不同掃瞄儀器的點雲模型方法。
4. 以遊戲引擎製作古蹟導覽程式，表現統整模型整合流程的價值。
5. 古蹟導覽程式結合 AR/VR/MR 的虛擬實境體驗，進一步提出未來文資應用於遊戲引擎上的可能性。

建物掃描工作多使用單一掃描的平台做建模處理，然而建築物應透過不同尺度之掃描方式，並且整合各式測量模型，才能完整得到該建物的所有資訊。

在目前常應用於建築文化資產的3D 掃描儀中，地載光達通常可獲取接近360度的環場3D 模型。但以此方法建置

的模型常有因遮蔽而無法採集的資訊，且在採集基地大範圍資訊時較為吃虧，因而模型建置後可發現鳥瞰角度下較多圖面上的破點。

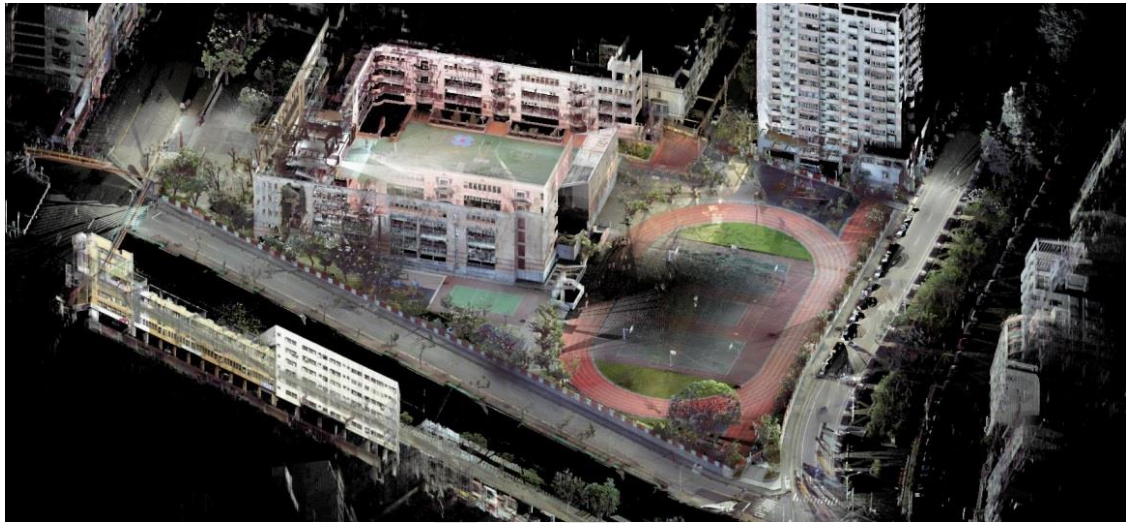


圖1-1-1 地面光達點雲測繪圖

(資料來源:黃銘彰, 2018)

用途廣泛的無人飛行器，從做為飛行自拍的功能至監測大型工地現場或山區環境拍攝即可看出，利用四軸飛行器作為航空拍攝機在日常生活中逐漸普遍於個人生活中，然而精準度並非是四軸飛行器所追求的。

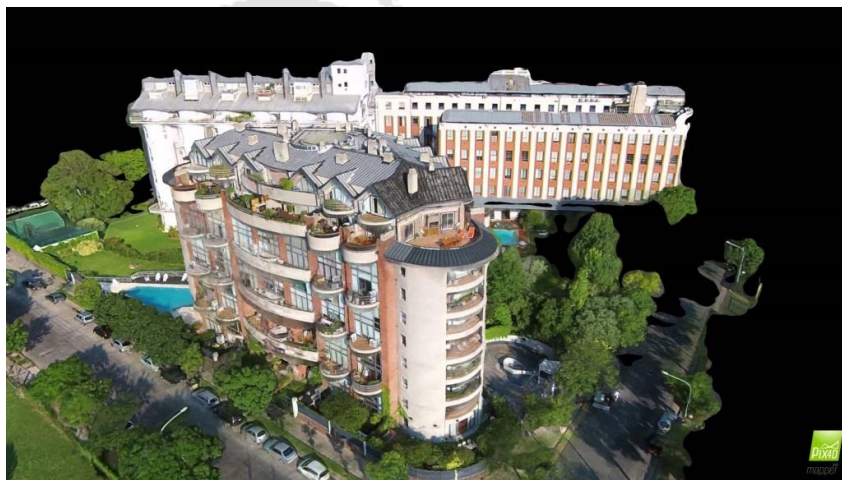


圖1-1-2 無人飛行器測繪圖

(資料來源: pix4d.com)

本研究希望能利用無人飛行器普遍及廉價的優點，結合地面光達掃描技術，使提升視覺及資料完整度於建築文物精密3D模型，最終能推行普遍、精細、快速且完整的3D建模流程，而此流程的價值在於如能快速地蒐集完整建物資訊，就能夠想像建物的全生命週期；從設計端到管理端；也將可輕易的監控與管理建築即時資訊，以此達到智慧建築的核心概念。

藉由地面光達儀（Light detection and ranging）的精準座標定位與無人飛行器(Unmanned Aerial Vehicle)空中掃描建物完整影像，能夠快速完成建築物的測繪，如此產出精密的數位化資料將可用於調查分析及設計。而數位化的檔案再輔以 Unity 編寫之互動軟體，最終可呈現至 VR/AR/MR，輕易地進行可視化的建物管理。

2019年4月15日巴黎聖母院被大火重創，已故建築學家塔倫受國家地理頻道之委託，在2015年為巴黎聖母院留下的3D地面光達儀掃描數據，可望對未來的重建帶來幫助。以雷射精密掃描所製作的巴黎聖母院影像。當時塔倫在聖母院內外總共50個地點，掃描聖母院的建築結構，累積的資料量達到10億個點，從這些樑柱、屋頂到地面的距離，都以誤差5毫米以內的精密度記錄下來。由此案例可知3D掃描建物對於文資應用的保存重要性非常高。

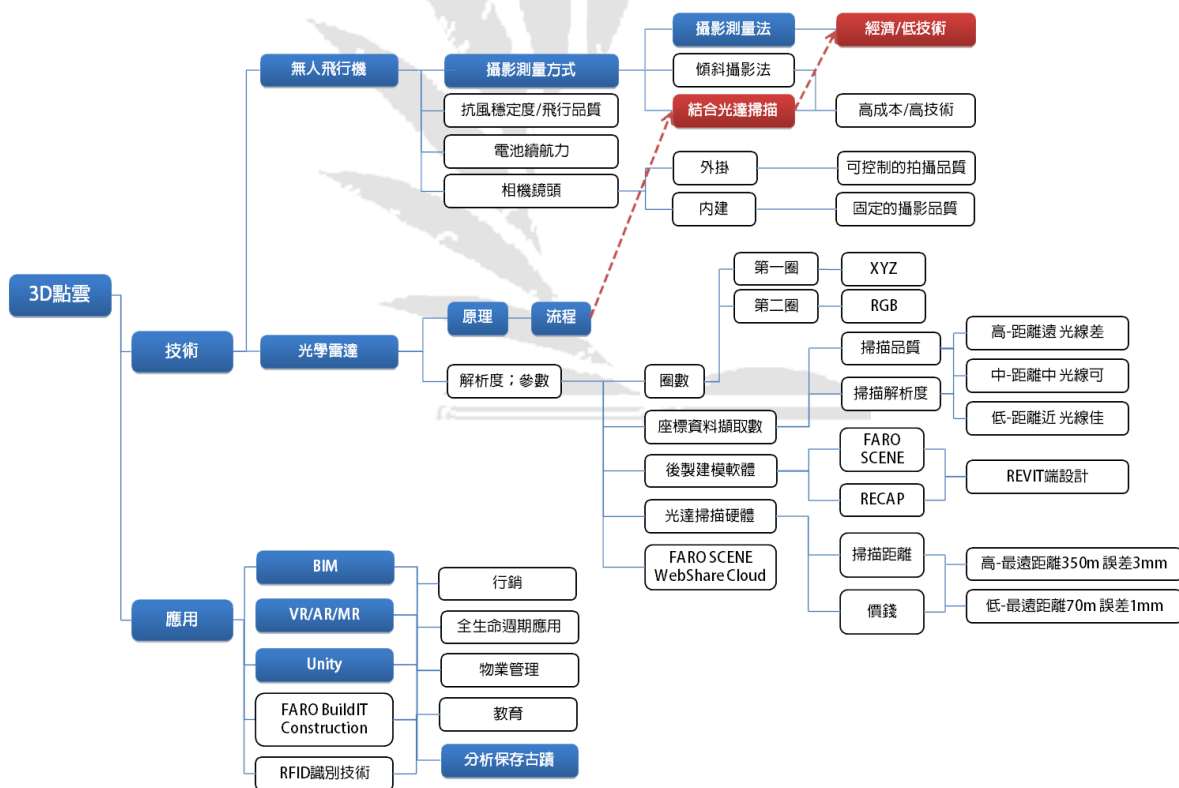
位於南屯區的萬和宮為台中市歷史最悠久的廟宇，不僅建物具深厚的文化價值，周邊因當地昔日打製犁頭等農具店舖聚集而形成附有歷史意義的「犁頭店街」。尺度從單棟建物至整片街廓並非是單一3D掃描方法即可掃描建置完成的，本研究希望利用此機會實作與討論結合地面光達掃描與無人飛行器空載傾斜攝影掃描建模的可行性，並期望提升點雲資訊的應用意義與建物資訊價值。

1-2 研究範圍與內容

同時以軟、硬體兩大主軸發展研究範圍。硬體部分以掃描技術為主，期望找出結合經濟與普遍性的精準測繪建模方式，並同時在掃描與建模相關的應用程式中尋找適合本次掃描技術的 BIM 數位資訊軟體。

藉由回顧以及了解國內外相關資訊，以挑選適合本次研究的軟體、硬體及技術，並找出最符合本研究主旨的3D 掃描理論與方法。再依序為地面光達掃描、無人飛行器掃描、模型整合與建置、Unity 介面操作以及 AR 展演，進行流程實作。最後針對實作結果探討本研究的可行性，就理論與實際成果的差異性進行檢討，並提出結論與建議。

圖1-2- 1 研究範圍圖



1-3 研究方法與流程

根據研究範圍與內容的界定，本研究計畫之步驟為緒論、文獻回顧、3D 掃描與應用程式的理論與方法、實作驗證、結論與建議等五個部分，說明如下(圖1-3-1):

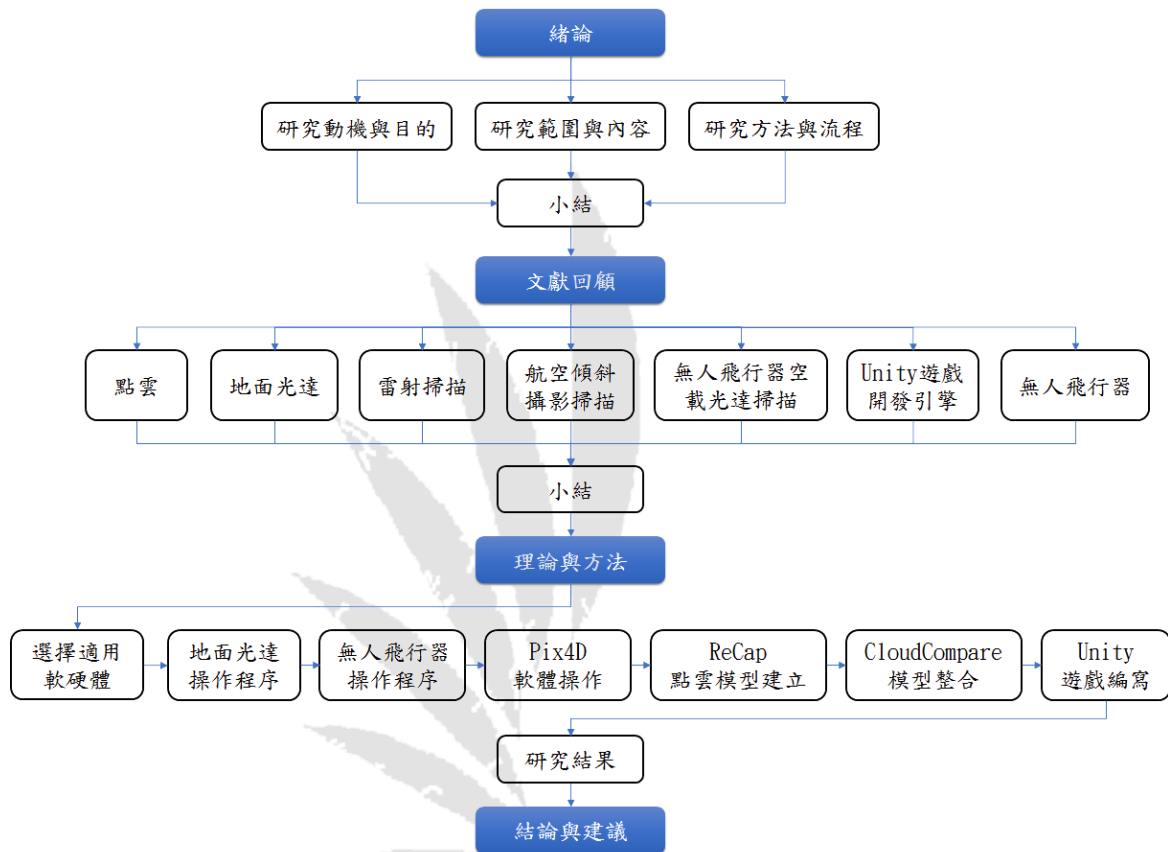


圖1-3- 1研究流程

- 1. 緒論:** 釐清研究動機與目的，確定研究範圍與內容，發展研究方法與流程，建立研究課題。
- 2. 文獻回顧:** 本研究將探討3D 掃描相關硬體與技術，以及相對應之應用程式。藉由回顧以及了解國內外相關資訊，探討出合適此研究的相關軟硬體。
- 3. 理論與方法:** 根據第二章文獻回顧的資訊整理，以挑選適合本次研究的軟體、硬體及技術，並找出最符合「整合研究3D 掃描模型建置並與舊建物互動於虛擬實境」研究主旨的3D 掃描理論與方法。再依序分為地面光達掃描、無人飛行器掃描、模型整合與建置、Unity 介面操作以及 VR/AR/MR 展演。
- 4. 結論:** 針對實作結果探討本研究的可行性，就理論與實際成果的差異性進行檢討，並提出基於「跨平台整合地面光達與無人飛行器掃描並導入 Unity 與文資應用」的趨勢建議。

第二章 文獻回顧

首先探討各式掃描原理，如目前市售之3D 掃描儀包含，地面光達、雷射掃描儀、結構光掃描儀以及顯微3D 等技術，以及車載掃描與空載掃描系統。因本次研究僅討論建築乃至城鎮尺度方面的精準掃描技術，固本文不討論結構光掃描儀、顯微3D 及車載掃描技術。再藉由文獻分析探討，各技術應用於建築設計或保存的應用相關性，發展本研究所需要的條件。

本研究計畫擬應用無人飛行器 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 探討保存及利用歷史建築樣貌之技術與操作流程，並使之成為新型態文創體驗。歸納無人飛行器之研究向度，包括：(1) 定義和飛行理論的綜述 (Hoffmann, 2004) (Stafford, 2014) ；(2) 無人飛行器案例調查與評估 (James, 2012) (Nex, 2014) (Liu, 2014) ；(3) 無人飛行器領域整合與應用 (李, 2010)。

應用智慧型手機與其掃描應用程式掃描建築物內小型文物，於 Autodesk ReCap 中整合無人飛行器掃描之數位模型並完成其目的 (Lee, 2009)。應用 Unity 遊戲引擎編寫及設計使用者與數位建築間的互動關係，以達到本研究計畫之新型態文創體驗目的。歸納 Unity 遊戲引擎對於建築領域之整合與應用 (Boeykens, 2011) (Bille, 2014) (Kim, 2014) (Mahayudin, 2016)。本研究計畫期望達成之新型態文創體驗，為結合無人飛行器與手機掃描於 Unity 遊戲引擎之文資新價值 (漢寶德, 2014)。

根據國內103~106年度，科技部學術補助獎勵查詢平台。在無人飛行器研究方面，統計有飛行導航與辨識技術、防災應用、與建築應用等三大向度，受到電機、空間資訊、建築、土木等領域的重視。在建築方面，學者著重於建築辨識與修復保存應用的可行性，潘乃

欣(105)、蘇東青(105)。另一方面，近年來從事無人飛行器的研究學者雖然不少，然而，針對無人飛行器跨平台結合他種掃描技術的應用於文資保存之研究並不多見。(表2-1)

表2-1 科技部計畫103~106年度

科技部計畫103~106年度				
項次	計劃名稱	主持人 領域 年度	摘要	向度
1	農地監測用無人飛行載具系統及多光譜數據分析應用軟體開發	徐子圭 106 航機工程	建置可應用於農地監測之無人飛行載具系統，並依據執行任務之需求，規劃一套無人飛行載具農地監測管理系統，其功能包括規劃與執行空中拍攝任務、並整理與分析拍攝所得的多光譜資料及無人飛行載具設備的檢查與維護。	辨識 應用
2	具高空作業能力及影像辨識之智慧型四軸飛行器	鍾鴻源 106 電機工程	使用由 Google 提出的深度學習網路架構 MobileNets 結合 SSD 物體檢測模型，能夠在大部分日常情況的環境下辨識出目標物。	辨識 技術
3	生物優異飛行操控機制之研究與仿生飛行器機構設計	楊鏡堂 103 機械工程	本研究選擇蝴蝶與豆娘做為微飛行器設計之模型，此兩種生物在飛行上之最大特點在於僅透過較低之拍撲頻率即可達到優良飛行操控，低拍撲頻率之優點可提升工程上之可行性，而優良之飛行操控則使飛行器可運用於更複雜之環境。	飛行 技術
4	小型四旋翼機在室內多障礙環境的飛行控制設計與實現及其在災變現場3D環境影像建置的應用	蘇仲鵬 105 電機工程	四旋翼機適合應用在室內的安全監視與巡航，其中特別是在發生災難中大的建築物，或核能電廠內部，利用四旋翼機協助檢視災變現場狀況，是災變中擬定救援計畫並有效執行救援的非常重要且必要的步驟。	防災 應用
5	具氣爆偵測之無人飛行器開發(II)	鄭湘原 105 電機工程	利用無人飛行載具快搭配高敏感度之表面聲波元件(Surface Acoustic Wave, SAW)氣體偵測系統，實現一高靈敏、即時大氣環境氣爆氣體偵測系統。同時為了使系統能夠於第一時間確認環境中烷、醚、醇等不同具氣爆性的有機氣體，進一步將層析管柱與上述系統相整合。	防災 技術
6	無人飛行載具整合及防災應用—以來義地區之莫拉克風災為例	張國楨 104 土木工程	針對八八風災受創嚴重的林邊流域地區，整合無人飛行載具及航空影像、多光譜儀影像、野外地質調查、GPS等技術，提供多解析度空間資料擷取技術於崩塌地及河道變遷之分析，並討論大型深層地滑之山崩促崩因子，崩積物之堆積運移，以及河道清淤等特性，以評估大型山崩對環境造成的衝擊。	防災 應用
7	無人飛行載具於崩塌地土石流失率與植栽復育調查之研究	饒見有 103 空間資訊	本計畫之研究目標為針對無人飛行載具(UAV)探討其在災害防救相關之技術與應用，同時發展無人機近即時直接定位土石災害與植栽復育調查系統。	防災 應用

8	金門古蹟風險分級、性能評定及監測管理之研究-環境因子議題	蘇東青 105 土木工程	藉由 UAV 影像可分析地形資料，包括：坡度、坡向，以了解古蹟周圍環境地形概況，配合降雨及氣溫等監測資料有助於環境風險分級。計畫成果顯示利用 UAV 航拍技術可有效針對該區域之環境風險因子產製相關主題圖。	文資 應用
9	無人飛行器於建物外牆診斷之應用	潘乃欣 105 建築	利用飛行器高解析度的拍攝於外牆診斷對於成本面與專業器材應用上為低，對於建築外牆檢測的公共安全與經費的考量，可降低工安意外的發生，以及臨時設施所衍生的費用。現場蒐集影像透過影像比對解讀檢測結果以協助判讀。	建築 應用
10	智慧型多軸無人飛行器及其系統於橋樑檢測之開發	陳翔傑 106 電機工程	應用於橋樑檢測的戶外型無人機系統，分析影像資訊後做為飛控的輔助控制。機上單眼視覺相機系統，拍攝之影像結合深度學習的網路後，提供物件的3D資訊做為避障飛行之用；另一方面，此相機系統所拍攝的基礎設施表面影像，可分析是否具有裂縫或表面瑕疵，做為結構安全的評估。	土木 應用



2-1 點雲

點雲 (point cloud) 是指透過3D掃描器所取得之資料型式。掃描資料以點的型式記錄，每一個點包含有三維座標，有些可能含有色彩資訊 (R,G,B) 或物體反射面強度(李家宇，2012)。點雲數據除了具有幾何位置以外，還有強度 (Intensity) 信息，強度信息的獲取是雷射掃描儀接受裝置採集到的回波強度，此強度信息與目標的表面材質、粗糙度、入射角方向，以及儀器的發射能量，雷射波長有關。點雲也是逆向工程中通過儀器測量外表的點數據集合。

由測量儀器所測量出的座標點非常緻密，最終將形成雲，因此稱呼為點雲。因測量後的結果是點組成的座標而並非網格面(Mesh 面)，所以需利用軟體或是人工手動後製可編輯的電腦模型。

如要製作成網格面就要看軟體的支援度和掃描時，硬體設定的敏銳度。而掃描之間有些鏡子或材質的反射會造成掃描取點誤判，處理後的點雲資料會有些雜訊，如此情況下的網格面就得要再詳細處理，因此推薦在設置掃描儀器前，先考慮最後此點雲資訊要做甚麼應用。

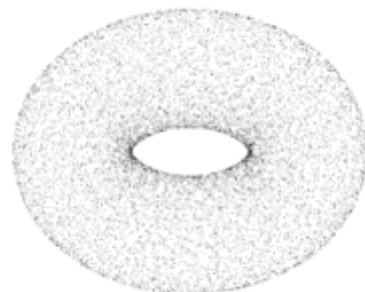


圖2-1-1一份由點雲集合出來的3D模型資料
(資料來源:張舜孔等，2013)

2-2 地面光達掃描

地面光達掃描技術(Light Detection And Ranging, LiDAR)，又稱三維雷射掃描技術。光達掃描技術中又有分為脈衝式掃描與相位式掃描。脈衝式掃描為計算雷射撞擊待測點，反射回感應器之往返飛行時間，求得掃描頭至待測點之距離觀測量，據此計算待測點之坐標位置，此法與傳統的測量儀器之測距儀有相同之原理。此法通常應用在長距離掃描上(超過500米)，目前公路邊坡崩塌計算、邊坡監測、崩塌土方應用等已多採用此法量測之。相位式掃描原理為透過雷射點發出至反射物之波形，計算此段距離之波形相位個數，藉此求出與反射物之間距離，因是採用相位方式，測距的精度較高，然距離越遠，較易受雜訊影響，一般來說適用於與目標待測物400米內(莊均緯，2017)。

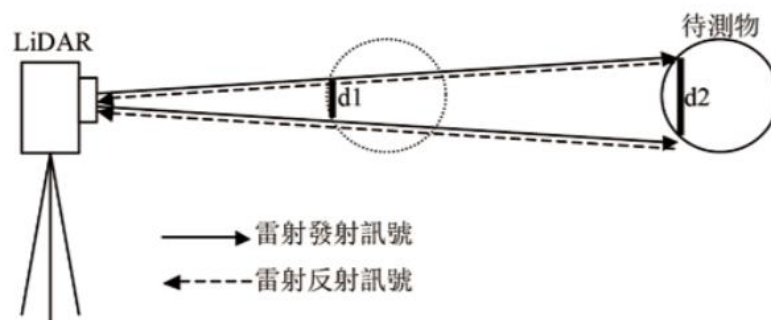


圖2-2- 1地載光達量測示意圖

(資料來源:張舜孔等，2013)

在目前常應用於建築文化資產的3D 掃描儀中，地面光達在掃描效率與掃描距離方面較具優勢，單次站點掃描約十分鐘即可完成，且在單次掃描中地載光達通常可獲取接近360度的環場3D 模型。且透過輔助定位的共軛球，可使多次站點掃描結果結合，並獲得完整的空間資訊，因此適用範圍從小至單一室內空間、大至聚落、遺址、文化景觀與自然地景等皆可適，其中僅需要考慮人力與時間投資。

表2-2-1 市面上常用的脈衝式掃描儀與相位式掃描儀比較

地面光達掃描儀比較	RIEGL VZ1000	Faro X330
掃描型式	脈衝式	相位式
掃描距離(90%反射率)	2.5m~1,000m	0.6m~330m
雷射等級	Class1 (安全雷射)	Class1 (安全雷射)
掃描頻率(最高)	29,000~122,000點	122,000~976,000點
Accuracy(離散程度)	8mm	2mm
電池	內建：1小時 外接：4小時	內建：4.5小時
儲存方式	USB或內建	SD卡(32G+)
重量	9.8kg	5.2kg
相機	NIKON D700 1,200萬畫素	7,000萬畫素
附屬裝置	GPS(需額外加裝)	羅盤、高度計、雙軸補償計、GPS

(資料來源:莊均緯, 2017)



圖2-2-2 點雲測繪資訊圖

(資料來源:黃銘彰, 2018)

2-3 雷射掃描

雷射掃描儀的解析度與精準度通常已進入數毫米或微米 (μm) 等級，因此較適用於損壞監測等研究工作的範疇。立架式雷射掃描儀的解析度與精準度通常都優於手持式雷射掃描儀，但立架式雷射掃描儀的掃描範圍通常較小，且不具移動性，；反之，雖然手持式雷射掃描儀的解析度與精準度較低一些，但可移動性為其最大優勢，因此對於一些不具移動性的文物通常可以透過手持式雷射掃描儀完成3D 掃描作業，但手持式雷射掃描儀在運作時通常需要配合黏貼參考點或於可通視範圍內架設定位儀器。因此在進行文物掃描時，需考量文物表面是否可黏貼參考點，若不可黏貼參考點，那是否可在文物周圍黏貼參考點；或需考量文物周圍是否有足夠空間架設定位儀器，否則可能需要考慮是否改用其他種類的掃描儀器(張舜孔等，2013)。

2-4 航空傾斜攝影掃描

首先界定空載傾斜攝影類型，若依照設備拍攝方式，可以分成兩大類

1. 連續性空載傾斜攝影(Continuous Oblique):

航空拍攝可透過連續性空載傾斜攝影(Continuous Oblique)進行掃描，該技術可通過從一個垂直、四個傾斜、五個不同的視角同步採集影像，獲取到豐富的建築物頂面及側視的高分辨率紋理。它不僅能夠真實地反映地物情況，高精度地獲取物方紋理信息，還可通過先進的定位、融合、建模等技術，生成真實的三維城市模型。該技術在歐美等發達國家已經廣泛應用於應急指揮、國土安全、城市管理、房產稅收等行業(李安福，2014)。

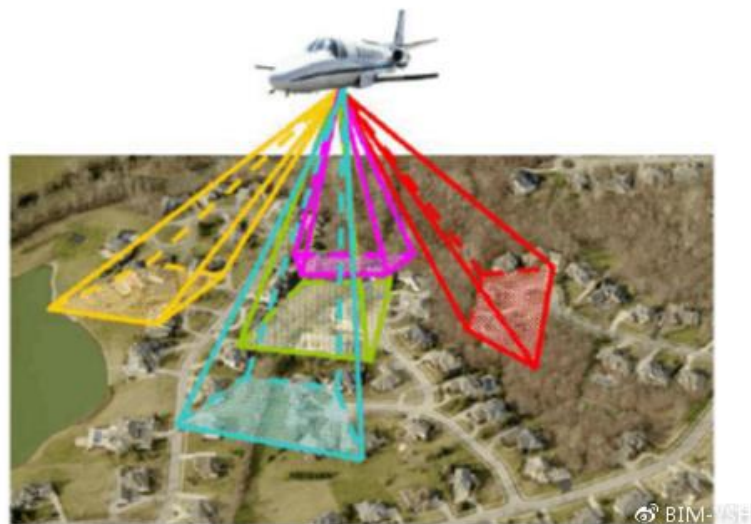


圖2-4-1 連續性空載傾斜攝影

(資料來源:李安福，2014)

2. 單幅式空載傾斜攝影(frame captured oblique):

以數位相機單幅式拍攝之空載傾斜攝影，影像相對於地面的傾角大，若運用傳統航空攝影測量技術，直接將單幅式空載傾斜攝影影像投影到地面，會造成很大的影像扭曲變形(廖法銘，2011)。但相對連續性空載傾斜攝影，單幅式空載傾斜攝影是一個較為經濟壓力低的選擇。不只四軸飛行空拍機使用單幅式傾斜攝影，目前也常以手機鏡頭應用在3D掃描 app，為非常常見的3D掃描手法。

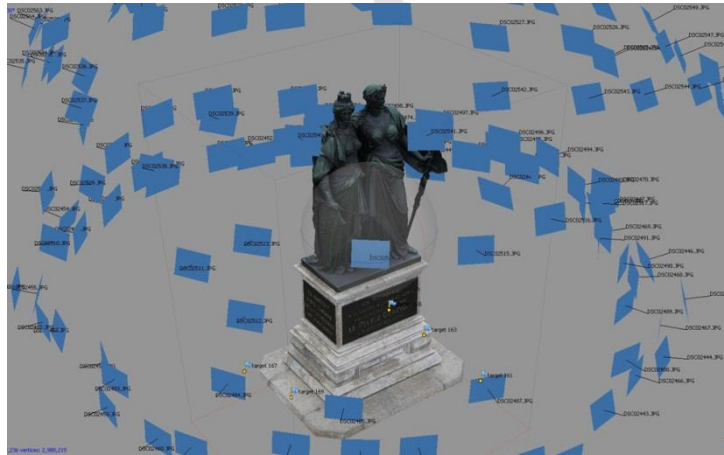


圖2-4- 2單幅式空載傾斜攝影

(資料來源: archeotech.ch)

2-5 無人飛行器空載光達掃描

目前已有少數家無人飛行器公司為更精細的3D 掃瞄要求，發展出可置入光達掃描儀的專用無人飛行器。例如來自比利時的公司 Think 3D 結合了他們的無人機技術與 FARO 光達掃描器，創造了世界第一個高精度的3D掃描無人機—STORMBEE。以此藉由結合無人機與光達掃描器，能夠達成單趟飛行即完成整塊點雲掃描的目的，外務測量上節省更多時間。但量身訂做的無人飛行器搭載光達掃描，成本不低且在開發中，還無法成為建築文物掃描的選項之一。

2-6 Unity 遊戲開發引擎

Unity 為由 Unity Technologies 研發的跨平台遊戲開發引擎，不僅跨越 Windows、MacOS、Playstation、Switch 等遊戲主機，或是 IOS、Android 等行動裝置，也已跨入 tvOS、Oculus Rift、ARKit 等新一代多媒體平台。Unity 除可以用於研發電子遊戲之外現在市面上還有除 Unity 以外，許多的3D遊戲引擎，像是 Cryengine、Unreal、S2Engine 它們有各自的開發語言與適用對象，但是 Unity 除作為遊戲開發引擎外，還被廣泛用於建築視覺化、實時三維動畫等類型互動內容的綜合型創作工具。考慮到需作為3D 掃描後建物模型可置入的軟體，Unity 僅提供建立基本幾何物件的工具，製作實際的遊戲角色或場景則可使用 3ds Max、Maya、Blender、Cinema 4D 等軟體，經過建模、設定材質、貼圖與編輯動畫，再匯入到 Unity 的專案中使用。此外，若電腦安裝 3ds Max 與 Maya 軟體，Unity 也支援 3ds Max(*.max)格式與 Maya(*.mb) 格式，FBX 檔案是建議使用的格式。且考量到它們的價格和教學資源的豐富程度以及討論度，使用了 Unity 來作為本次研究中用來向人展示與互動的虛擬實境開發介面。

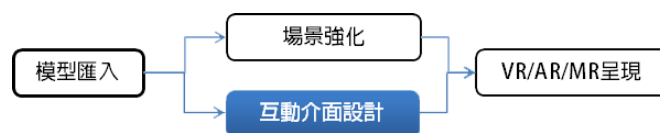


圖2-6-1 模型匯入 Unity 之工作流程

107學年度上學期於逢甲大學創意設計碩士學位學程開設 Unity 基礎介面介紹、導覽程式編寫與 VR/AR/MR 系統上的碩士課程。課程主旨為教育學生了解展場導覽規劃程式編寫與基本 Unity 操作。表 2-6-1 為學生在最後期末所交出之成果。

從表上可以了解學生不僅只做展場尺度之導覽路徑規劃，從遊樂園至城市的規模都是能夠被此概念所包含收納。遊戲地圖上的模組物件多從玩家自行提供至 Unity 商店，也就是 Asset Store 頁面免費下載，只有少數自行建模或利用其他課程於 Revit 建構之模型轉出並匯入至 Unity，最後套入導覽程式中。

從案例中能夠推斷出模型主題與地圖規模幾乎可以決定一款以導覽取向的程式的定位以及後續發展。若為遊樂園主題取向，則除了導覽外，勢必考慮到是否該在程式上提供排隊時間相關資訊或遊行、表演等活動的時間表。若為城市或城鎮主題取向，後續編寫部分就需朝向例如地方市政府或衛生處的相關聯絡資訊，或更在道路路徑規劃的導覽路線上更著功夫。

因此若希望以推廣歷史建築物的細部資訊作為導覽程式編寫取向，規模上應該要再比以下案例更小，例如可以遊走室內空間並瀏覽歷史文物如斗拱、神像或交趾陶等，而靠近物件時能夠跳出影片畫面介紹文物背景資訊。再配合 VR/AR/MR 的虛擬實境體驗，使使用者不用抵達現場卻能如置身於實際環境中，或甚至提供過去或未來想像之模擬空間，最大化該歷史建物的文化教育價值。

表2-6- 1 Unity 應用 案例

Unity應用案例				
項次	案例名稱	作者	案例模型使用類型	案例截圖
1	樂園起點	陳盈佑、朱瓊慧	商店下載物件	
2	香港/摩天大樓	賴乃葳	商店下載物件	
3	Joy Forest Maze	王巧儀	商店下載物件	
4	Snow City	龐宇軒、尤詮盛、喻飛	自製模型導入	
5	Mist Vale	洪維澤、劉婕怡	Revit模型導入	
6	時空穿越·戰士	程昱維、林晏羽	商店下載物件	

2-7 無人飛行器

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)或稱無人飛機系統(Unmanned Aircraft System, UAS)，俗稱無人飛機、無人機、無人航空載具、無人作戰飛機、蜂型機，廣義上為不需要駕駛員登機駕駛的各式遙控飛行器，在現今流行文化之下，一般認為 UAV 為四軸飛行器。

四軸飛行器又稱四旋翼、四轉子，是一種多軸飛行器，有四個旋翼來懸停、維持姿態及平飛。和固定翼飛機不同，它通過旋翼提供的推力使飛機升空。它的四個旋翼大小相同，分布位置接近對稱。對於簡單的設計來說，僅僅通過調整不同旋翼之間的相對速度來調節不同位置的推力，並克服每個旋翼之間的反扭力矩，就可以控制飛機維持姿態、或完成各種機動飛行。因為四軸飛行器體積小、重量輕，攜帶方便，能輕易進入人不易進入的各種惡劣環境。常用來製作模型，也用來執行航拍電影取景、實時監控、地形勘探等飛行任務。

用途廣泛的無人飛行器，從做為飛行自拍的功能至監測大型工地現場或山區環境拍攝即可看出，利用四軸飛行器作為航空拍攝機在日常生活中逐漸普遍於個人生活中。本研究希望能利用無人飛行器普遍及廉價的優點，結合地面光達掃描技術，使提升視覺及資料完整度於建築文物精密3D測繪方面，最終能推行普遍、精細、快速且完整的3D建模流程，而此流程的價值在於如能快速地蒐集完整建物資訊，建物的全生命週期；從設計端到管理端；也將可輕易的監控與管理建築即時資訊，藉由此達到智慧建築的核心概念。

2-8 CloudCompare

CloudCompare 是一種3D 點雲後製軟體（例如購買 Faro 雷射掃描儀所獲得的後製軟體 Faro Scene）。它還可以處理三角形網格和校準圖像。

CloudCompare 最初是在 Telecom ParisTech 和 EDF 的研發部門合作期間創建的，於2003年開始，Daniel Girardeau-Montaut 博士開始研究3D 幾何數據的變化檢測。當時的主要目的是快速檢測工業設施（如發電廠）或建築工地中用雷射掃描儀獲得的3D 高密度點雲的變化。之後發展成為更通用和先進的3D 數據處理軟體。CloudCompare 目前是獨立的開源項目和免費軟體。

CloudCompare 在本研究的價值為提供結合不同點雲資訊的方式，也可對點雲資訊進行不必要部份的剪裁，以控制檔案大小或雜訊點消除，並且擁有可設定不同密度偵測之點雲轉網格面的功能。CloudCompare 也提供插件機制，使可以進一步擴展功能：

Poisson Surface Reconstruction (泊松表面重建)，是約翰霍普金斯大學的 Misha Kazhdan 提出的三角網格生成算法的簡單演算法。要使用此插件，使用者必須選擇具有法線(Normal)的點雲，為了獲得較為良好的結果，雲的法線必須是乾淨的（即所有法線的方向必須正確/一致且不能有太多的雜訊點）。數值為默認情況下，算法應該應用於封閉的3D 形狀，但是也可以使用輸出“密度”信息來獲得有效網格，即使在開放網格上（使用情況通常如地形起伏模型）。

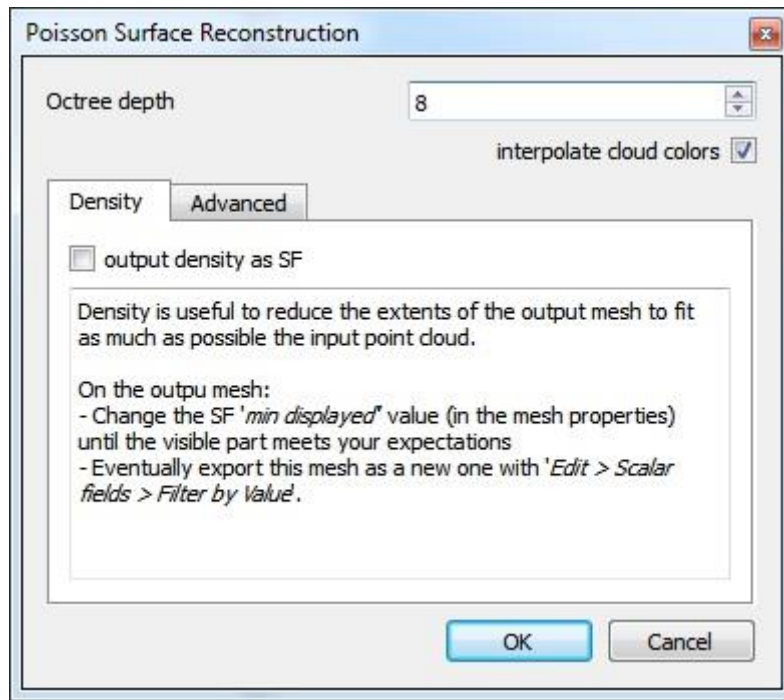


圖2-8-1 插件對話框

插件對話框如上所示。主要參數是「八叉樹深度」。結果越精細（即越大），但也需要更多的記憶體與進行電腦運算的時間。以下是輸出網格的範例，左側為網格面，在右側為匯入的點雲資料(具有法線)。



圖2-8-2 輸出網格的範例

使用開放形狀（如 LiDAR 雲等）時的特性是 Poisson Surface Reconstruction 輸出的「密度」度量。使用者可以使用此標量字段來減少輸出網格範圍，以便盡可能匹配匯入的點雲範圍。在完成計算後，關閉插件對話框並選擇輸出後的網格物件，向下滾動其 Properties 視窗，看到「SF display params」部分，使用左側白色圓形交互器（對應於最小顯示值）以交互顯示方式隱藏具有最低密度值的頂點的三角形。它們對應的是距匯入的點雲最遠的三角形。一旦對結果視覺上滿意，可以將可見三角形導出為新的網格模型。使用 Edit > Scalar Fields > Filter by Value，最小值和最大值應該已經設置為交互式設置的值確認創建一個新的網格模型。

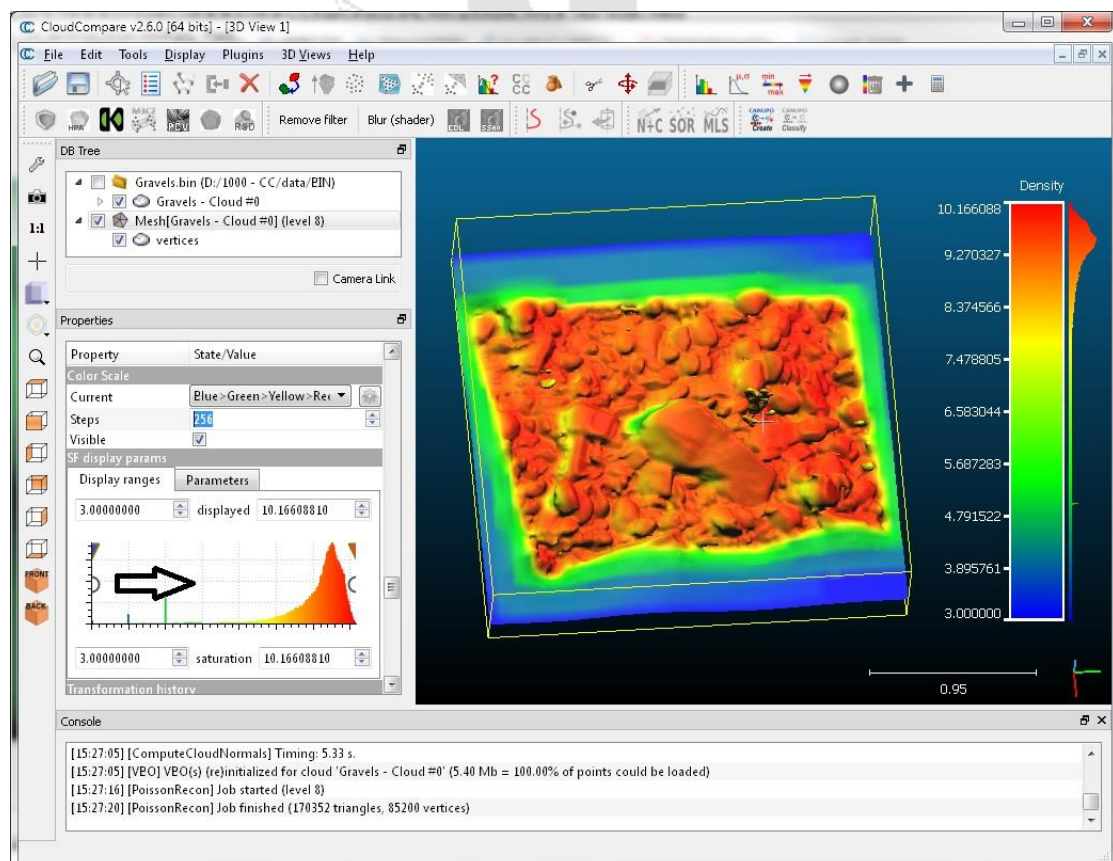


圖2-8-3 調整網格模型示意圖

Normals\Compute(法線\計算)為使用 Poisson Surface Reconstruction 演算前的必要計算。要計算點雲上的法線，有必要估計由點及其鄰邊點的局部表面。雜訊程度和鄰邊點的數量/距離將改變網格面的樣子。

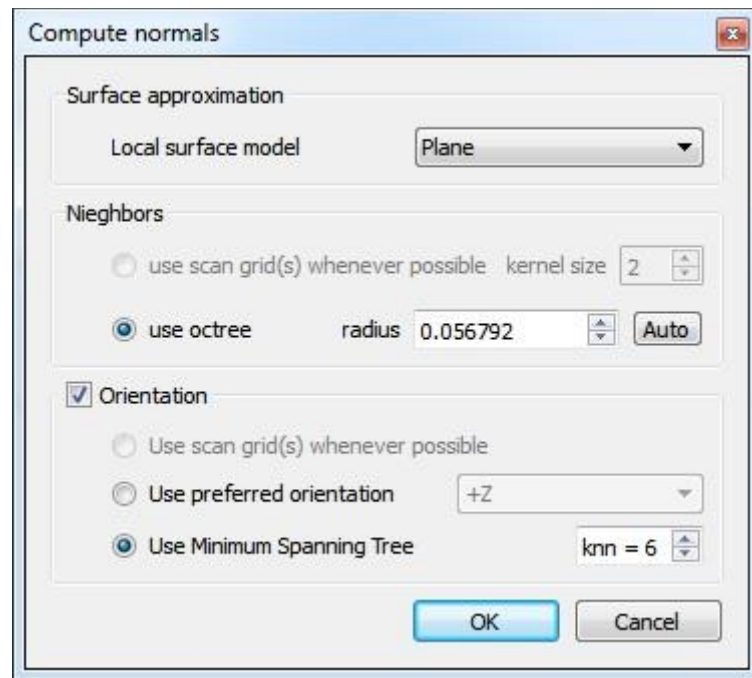


圖2-8- 4 法線計算對話框

2-9 萬和宮與犁頭店街

萬和宮，又名犁頭店萬和宮，是位於臺灣臺中市南屯區南屯里的媽祖廟，該廟建築與祭祀分別被列為臺中市文化資產的古蹟、無形文化資產。萬和宮建於雍正四年（1726年），雍正五年（1727年）完工，廟又名「犁頭店萬和宮」。

1985年建築列為三級古蹟。廟內有張國祿位、昭和年款銅鐘、道光年款銚鐵大鐘、銚鐵金爐及德媿媧皇匾這五件古物，在2016年被台中市文化資產處列為一般古物。

犁頭店街，即南屯老街，位於臺灣臺中市南屯區，主要在萬和路與南屯路口一帶，包括南屯路與萬和路交叉處的三角街，以及南屯市場與萬和宮。南屯老街長約200公尺，昔稱「犁頭店街」，老街兩側保留許多古建築，也保存有豆腐店、打鐵店、種子店、米麩店、百貨店、中藥舖等老店鋪。

2-10 小結

為符合本次研究主旨，探討能推行普遍、精細、快速且完整的3D 建模流程，而快速地蒐集完整建物資訊，將在第三章挑選適合本次研究的軟體、硬體及技術，並找出最符合「整合研究3D 掃描模型建置並與舊建物互動於虛擬實境」研究主旨的3D 掃描理論與方法。

第三章 理論與方法

3-1 選擇適用硬體

在各式掃描硬體與方法的文獻回顧之後，分析與本次研究相關的幾項元素；精細/誤差、最大掃描體積、合適應用範圍、應用案例以及價格，作為下表(表3-1-1)的製作依據，以比較出適用此次設計的硬體。

表3-1-1 硬體設備比較表

	雷射掃描	地面光達掃描:	航空傾斜攝影掃描 單幅式空載傾斜攝影	無人飛行器 空載光達掃描
精細/誤差	精細: ≤ 1.0mm	精細: ≤ 2.0mm	不精細: 有時大於3000mm	精細 ≤ 2.0mm
最大掃描體積	小: 8m ³	視投資時間 趨於無限	視硬體設備 趨於無限	視硬體設備 趨於無限
應用範圍	小: 建築內部物件 梁、柱…等	中: 一棟建築 室內外	大: 村莊/城鎮	大: 施工現場
應用案例	建材銀行	古蹟數位保存	歷史村莊紀錄 土木工程計算	土木工程計算
價格	約四十萬台幣	約兩百萬台幣	約二至十萬台幣	未知

從此比較表可看出，雷射掃描部分因為價格高且掃描範圍小，雖可進行建築內部物件梁、柱等等的掃描程序，也能應用在現今建材銀行的建築循環概念，但因規模較小且耗費資金高，故不符合本研究要求之普遍及經濟的目標。地面光達掃描雖耗費需兩百萬台幣，但已經普遍於現今建築測繪現場，且每個站點的掃描速度非常快，約十分鐘即可完成一個室內空間大小的站點掃描。航空傾斜攝影掃描，單幅式空載傾斜攝影，掃描範圍廣大，適用於村莊、城鎮類的紀錄，但後製後的模型檔案較不適用於精細的設計工程，模型檔案變形嚴重且誤差大，便宜且普遍的價格與普及率則是一大優點。雖

然精細度高，測量範圍時間短，但為空載光達掃描量身訂做的無人飛行器空載光達掃描造價未知，且尚未普遍。以此推論出地面光達掃描與航空傾斜攝影掃描單幅是空載傾斜攝影兩者較能成為此次設計的硬體選擇。

3-2 選擇無人機適用軟體

無人飛行器在市面上的應用軟體數量與無人飛行器的普遍程度一樣多，在眾多比較之下選擇 Pix4D，其同時擁有免費有測繪(Plan Mapping)功能與繞製繪圖(Circular)功能，以及跨越各大手機平台，符合本研究的普遍性條件，來作為此次的無人飛行器應用軟體。

表3-2-1 無人飛行器應用軟體比較表

	designed by Pix4D	Free app?	iPhone	iPad	Android	Plan mapping	Circular	Peripheral mapping	Waypoint route	360° pan	Ergonomy	Mission saving	Capture preview	DJI	Parrot
 Pix4D Capture	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	☆☆☆	✗	✗	✓	✓
 DJI GSP PRO	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✗	☆☆	✓	✗	✓	✗
 DroneDeploy	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	☆☆	✓	✗	✓	✗
 Drone Harmony	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	☆☆	✓	✓	✓	✗
 Hangar360	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	☆☆	✗	✗	✓	✗
 Drone Blocks	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	☆☆	✓	✗	✓	✗

(資料來源:pix4d.com)

3-3 選擇3D 點雲後製軟體

在利用不管是地面光達掃描儀或是無人飛行器拍攝所獲得的點雲資料，都必須再把資料放入後製軟體中處理，才能形成可以使用的網格面(Mesh)模型資訊。除了掃描硬體公司所提供的點雲後製軟體，例如 FARO SCENE，然而目前市面上也有其他建模專業處理公司做整合性的後製軟體。

點雲獲得的資料來源又分為攝影掃描法點雲資料與雷射掃描法點雲資料，不同的軟體適用於不同的來源的掃描資料(見表2-2-8)。本次設計考慮到 ReCap 本為 Autodesk 旗下軟體，後製點雲資料完成後還可與其他相關 BIM 軟體進行整合，而 ReCap 也可配合此次研究所選出兩個硬體作為共同的編輯平台，符合此次研究目的。

表3-3- 1攝影掃描法點雲後製軟體與雷射掃描法點雲資料後製軟體表

Product name	Manufacturer	Photogrammetry	Scan data import	Import formats	Processing	Export formats	License	Operating systems
3DF Zephyr	3DFlow	yes	yes	photo, laser scan (PTX, E57)	registration, meshing	mesh, point clouds, DSM/DTM, geotiff, KML	Commercial	Windows
Bentley ContextCapture	Bentley Systems	yes	yes	photo, laser scan (PTX, E57)	registration, meshing	mesh, web, point clouds, DSM, geotiff, KML	Commercial	Windows
RealityCapture	Capturing Reality	yes	yes	photo, laser scan (ptx, e57) ^[1]	registration, meshing	point data, DSM, geotiff ^[2]	Commercial	Windows
Agisoft Photoscan	Agisoft	yes	no	photo	meshing	point data, DSM/DTM	Commercial	Windows, Mac, Linux
123D Catch	Autodesk	yes	no	photo	meshing	Autodesk cloud	Commercial	Android, Mac, Windows
ReCap Photo	Autodesk	yes	no	photo	meshing	Autodesk cloud, RCM, OBJ, STL	Commercial	Windows
Pix4Mapper	Pix4D	yes	yes	Any photos in jpg and tiff 4K videos in avi, mov, wmv, and mp4	aerial triangulation, point cloud densification, 3D meshing, orthorectification	<2D> • Orthomosaic in GeoTIFF • Map tiles in KML, HTML • Vegetation index map in GeoTIFF • Application map in SHP • Thermal maps in GeoTiff <3D> • 3D PDF for 3D mesh • DSM and DTM in GeoTIFF • 3D textured mesh in OBJ, PLY, DXF, and FBX • 3D level-of-detail (LOD) mesh in SLPK and OSGB • Point cloud in LAS, LAZ, XYZ and PLY • Contour lines in SHP, DXF, and PDF • Vector objects in DXF, SHP, DGN and KML	Commercial	Windows, Mac, Linux
Product name	Manufacturer	Photogrammetry	Scan data import	Import formats	Processing	Export formats	Operating systems	
Bentley Descartes	Bentley Systems	no	independent of manufacturer	various format	meshing, classifying, coloring, texturing, draping, orthographic projection, merging with CAD or GIS data	point data, obj, ply, pod, las, xyz, dsm, geotiff, ortho, textures	Windows	
Pointools	Bentley Systems	no	independent of manufacturer	various format	classifying, coloring, texturing, animation production	point data, pod, las, obj, ply, xyz	Windows	
RealityCapture	Capturing Reality	yes	independent of manufacturer	ptx, e57	meshing, coloring, texturing, orthographic projection	point data, obj, ply, xyz, dsm, geotiff, ortho, textures	Windows	
Trimble RealWorks	Trimble	no	independent of manufacturer	various scanners, XYZ, E57, PTX, PTS, LAS, LAZ, ZFS, RSP, FLS, DP	automatic registration with or without targets, layouts, profiles, meshing, contouring, volume calculation, modeling, classification, coloring, texturing, animation production, ortho photo creation, storage tank inspection, 3d and projection based comparison of surfaces and point clouds, publish projects for sharing	E57, ASC, LAS 1.2, LAS 1.4, LAZ, POD, PTS, PTX, TZF, BSF, KMZ, DWG, DXF, DGN, FBX, OBJ	Windows	
Leica CYCLONE	Leica Geosystems	no	Leica, Faro and others	Leica, Faro and others scanners	meshing	point data, CAD formats	Windows	
ReCap	Autodesk	no	independent of manufacturer	XYZ, E57	meshing	AutoCAD, RCP, RCS	AutoCAD plug-in, Revit plug-in, 3ds Max plug-in (Windows)	
Voxitr	Voxitr	no	independent of manufacturer	XYZ, E57, PTX, PTS, LAS, LAZ	Cloud application to store, process and share large 3D point clouds entirely online using only a standard web browser. Provides a growing number of measurement and annotation tools as well as various point cloud visualization techniques.	ply, pdf	Web browser	

(資料來源:wiki.com)

3-4 小結

在目前常應用於建築文化資產的3D 掃描儀中，地面光達在單次站點掃描約十分鐘即可完成，且在單次掃描中，地載光達通常可獲取接近360度的環場3D 模型。但以此方法建置的模型常有因遮蔽而無法採集的資訊，且在採集基地大範圍資訊時較為吃虧，因而模型建置後可發現鳥瞰角度下較多圖面上的破點。

而用途廣泛的無人飛行器，從做為飛行自拍的功能至監測大型工地現場或山區環境拍攝即可看出，利用四軸飛行器作為航空拍攝機在日常生活中逐漸普遍於個人生活中，然而精準度並非四軸飛行器所追求的。

第三章理論與方法中，選擇地面光達掃描儀與無人飛行器空載傾斜攝影掃描，作為此次研究的實作硬體。接下來希望能結合兩者優缺點，使提升視覺及資料完整度於建築文物精密3D 模型，最終能推行普遍、精細、快速且完整的3D 建模流程，而此流程的價值在於如能快速地蒐集完整建物資訊，就能夠想像建物的全生命週期；從設計端到管理端；也將可輕易的監控與管理建築即時資訊，以此達到智慧建築的核心概念。

3-5 地面光達 FARO X330

本次研究於七月時參與鴻竹建築師事務所於東海大學衛理會館(女白宮)進行第一次地面光達測繪。進行測繪時所使用的是 FARO X330地面光達掃描儀(圖4-1-1)，其為相位式掃描儀，掃描合適距離為0.6m至330，掃描頻率為每秒122000至976000個座標點，精細度一般則為2mm，若現場有放置座標共軛球，誤差範圍可達到1mm 以下。每顆電池續航力為4.5小時，本次測繪僅用兩顆電池。重量5.2kg，單人可移動的合適重量，攜帶性高。相機則為7000萬畫素，在可完整獲得攝影資料。附屬裝置還有羅盤、高度計、雙軸補償計及 GPS，因此取得的點雲座標資訊都是相當完整。



圖3-5- 1 FARO X330



圖3-5- 2東海大學衛理會館

東海大學衛理會館(俗稱女白宮)為陳其寬教授設計，於1967/11/9落成，為女單身教職員宿，目前為文化資產處登記歷史建物，極富文物保存價值。此次因東海大學希望紀錄衛理會館重新裝修後的詳細設計圖，因此邀請鴻竹事務所運用地面光達儀器進行精密測繪，也可於後面進行影像的紀錄。

3-6 地面光達擺設須知

雖然基本上擺設上較為隨意也無規定，但如有較在意的地方，還是須注意擺設的位置，若能特別讓機器的到掃描(調整高度...等)，掃描的破點較不會出現在重要角度。儀器在在室外作業掃描時至少兩個人看顧，避免路人碰到機器或座標共軛球，造成定位錯誤難以實行後製作業。測繪現場人少時則是一人作業即可。

地面光達儀視線擺設：

一般掃描範圍內常有柱子或樹木，須盡量調整不同的位置以確定資料能夠完整被掃描。

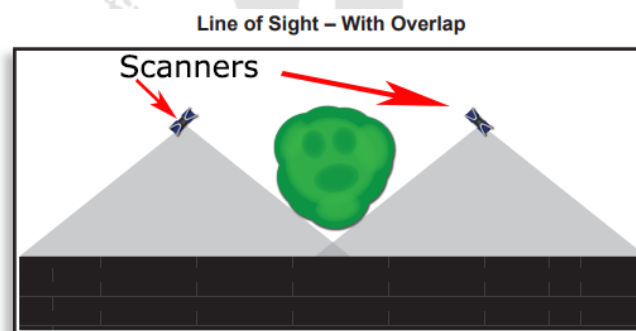


圖3-6-1 地面光達儀視線擺設

(資料來源:faro.com)

掃描對象的角度：

多次從不同角度的掃瞄可以提供最完整的三維影像。選擇適當的角度可以減少需要掃描的次數。

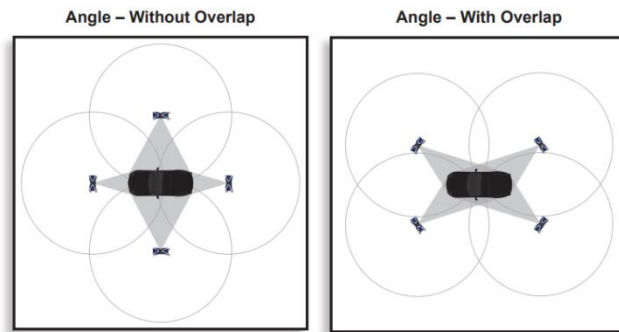


圖3-6-2 掃描對象的角度

(資料來源:faro.com)

避免分隔線:

避免讓掃描器的掃描起始/終點線，起始/終點線應該面對最不重要的物件上。

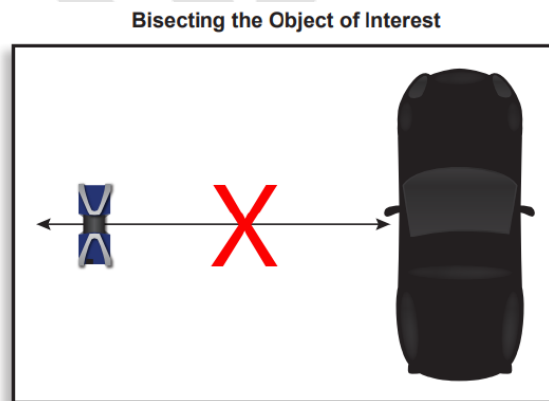


圖3-6-3 避免分隔線

(資料來源:faro.com)

掃描站順序:

有邏輯順序的掃描站設置會使後製接圖更輕鬆。例如使用線性或是環繞式的掃描會更容易接圖。

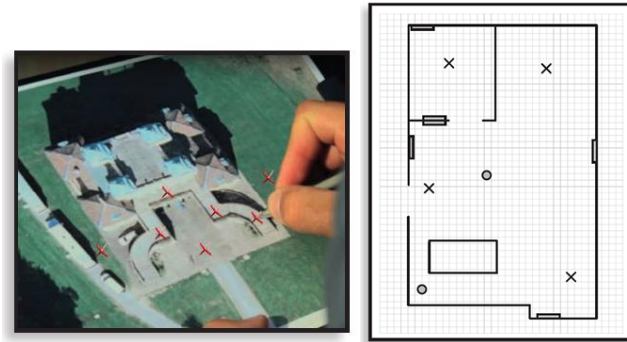


圖3-6-4 避免分隔線

(資料來源: faro.com)

座標共軌球擺設:

掃描站點，第一站到第二站之間至少要有三顆相同的座標球(點、線、面)。無特別擺設要求，但如果有固定點的話，二次測量時可以較好銜接模型。球夠多的話實行作用中就不用省這些球，球少的話就會需要搬動比較多球 花費較多時間。



圖3-6-5 共軌球擺設範例

圖3-6-6 共軌球固定點

3-7 地面光達掃描程序

每個站點光達儀器掃描將轉兩圈。第一圈旋轉時將同時採集點雲資訊的座標軸，每秒將採集20萬到100萬的 XYZ 座標，依設定精細度決定每秒採集程度。第二圈將拍攝7000畫素彩色環景照片。最終兩種資訊重疊一起，整合成 XYZ+RGB 的資訊。此次衛理會館光達儀器設定座標軸每秒取20萬，總共兩千八百三十萬個座標軸，一圈花約5分鐘。而設定的座標點越多，也要花較多時間掃描，繞一圈預估將近半小時。



圖3-7-1 可視化的點雲資料

3-8 地面光達掃描品質設定

掃描解析度:

解析度關係到資料點數量上的蒐集程度，以及每個點與點的距離大小。選擇上依照細節的要求程度、重要物件的距離，以及目標物的距離進行設定，如下表3-8-1。

表3-8-1 掃描解析度設定與對應環境

掃描解析度	適用範圍
1/1 或 1/2	單一物件及小區域
1/4 或 1/5	大的單一室內空間及部分戶外空間
1/8 或 1/10	各個室內空間及小的戶外空間

掃描品質:

掃描品質決定確認資料點的計算數量大小，增加品質設定會延長掃描時間。

表3-8-2 掃描品質設定與對應環境

掃描品質	適用光線情況
2x	最佳情況(好天氣、好光線) 且當時間需要被考慮時的設定
3x	陰天下的室內與室外時的設定
4x	戶外是大太陽好天氣的情況下且需要遠距離測量時，或是惡劣的天氣時的設定

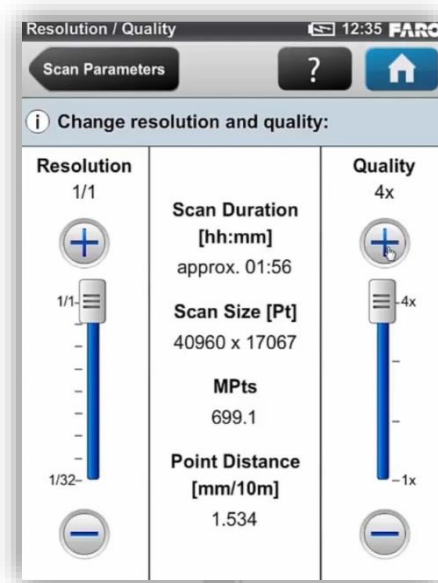


圖3-8-1 光達掃描品質設定

(資料來源:faro.com)

3-9 地面光達掃描後製流程

硬體掃描結束後，掃描完成檔案進入 Autodesk ReCap 或 FARO SCENE 的專業軟體進行後製，此掃描檔案先以鴻竹建築師事務所所使用的 FARO SCENE 做為後製軟體示範。匯入單站點雲資料，由於範圍無法以單站掃描所有範圍，因此需要進行各站之間的拼接動作，接下來匯入另一個鄰近掃描儀資料，點選兩站皆掃描到的座標共軛球位置，讓軟體得以比對出兩站之間的相對位置，使得站與站之間的點雲資料拼接完成。重複此步驟，繼續將下一站與前一站點雲資料做完成拼接作業，直至所有掃描儀站的資訊完成為止。

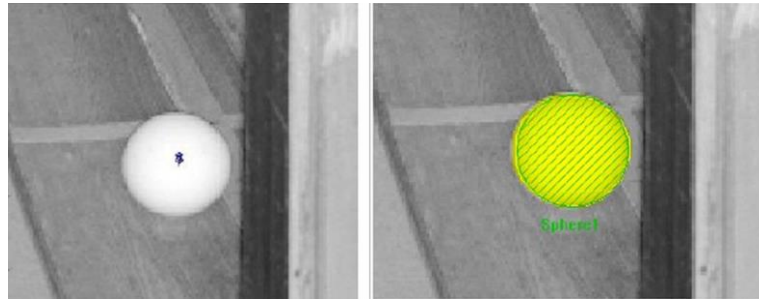


圖3-9-1 選取共軛球進行拼接作業

(資料來源: 莊均緯, 2014)

接下來將掃描的點雲資料套入顏色資訊，使灰階的點雲資料變成彩色點雲資訊使用剪切框裁剪點雲資料，便於選擇興趣區域，將不必要的資料隱藏；若掃描站數以及資料量龐大時，針對選擇的點位進行操作以及成果輸出，可以減省大量的時間。

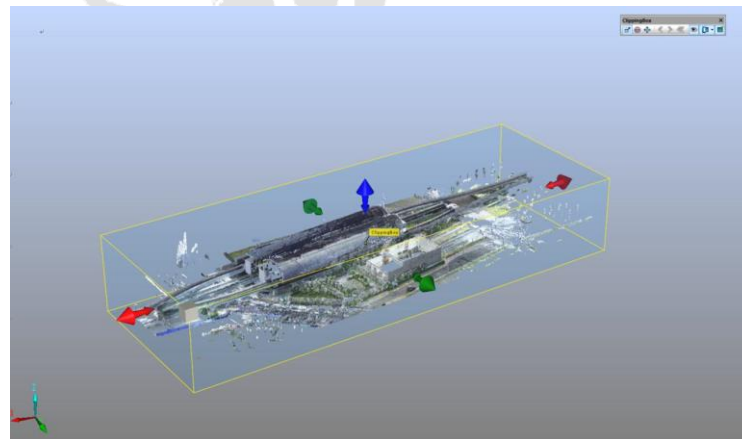


圖3-9-2 裁切點雲資料

(資料來源: 莊均緯, 2014)

將完成的點雲資料上傳 FARO SCENE WebShare Cloud，可將全景掃描圖像放置在網路上，不需要安裝其他軟體，皆可共享掃描成果，便於提供業主及客戶端使用。使用者可在資料上清楚得知掃描儀器架站相關位置，亦可在畫面上量測長度以及記錄備註資料。

FARO SCENE WebShare Cloud 為 FARO 提供的主機託管服務，使客戶與業主提供安全協作以及雲端三維數據共享。客戶與業主可以通過網路瀏覽器輕鬆地在三維視圖中查看完工數據。在 FARO SCENE 軟體上後製完成後即可無縫上傳雲端。使用 SSL 加密通信提供安全協作，最重要的是支持平板電腦和智慧手機，如此即可提供建築設計現場的監控與管理。



圖3-9-3 資料上傳 WebShare 成果

(資料來源: 莊均緯, 2014)

3-10 東海大學衛理會館地面光達掃描案例小結

以此次在東海大學衛理會館測量之經驗可以總結，光達掃描在精細度上，兩站之間的銜接誤差約2mm 以內，但如果有座標球(共軛球)就可以控制在1mm 以內。總操作時間以目前案例來討論，大約只需兩天，除非在後製過程中發現嚴重破點問題，則須再來至現場依照破點位置重新擺上與上次同一處的掃描站點執行掃描程序。操作人力則可控制在兩人以內，而以目前案例來講，因情況特殊、人煙

稀少，僅需一人照顧儀器安全。機器重量約兩公斤，相當輕型。可大幅減少外業時間及人力，但精細度非常高。唯幾項缺點於價格高、成形圖面在屋頂處因掃描遮蔽而形成破點，惟能使用無人飛行器空載攝影鏡頭做傾斜攝影測量掃描法，能更加強圖面資訊的完整性，且範圍可以觸及到基地周邊。

光達掃描經這次經驗可統整流程如下(圖3-10-1)。

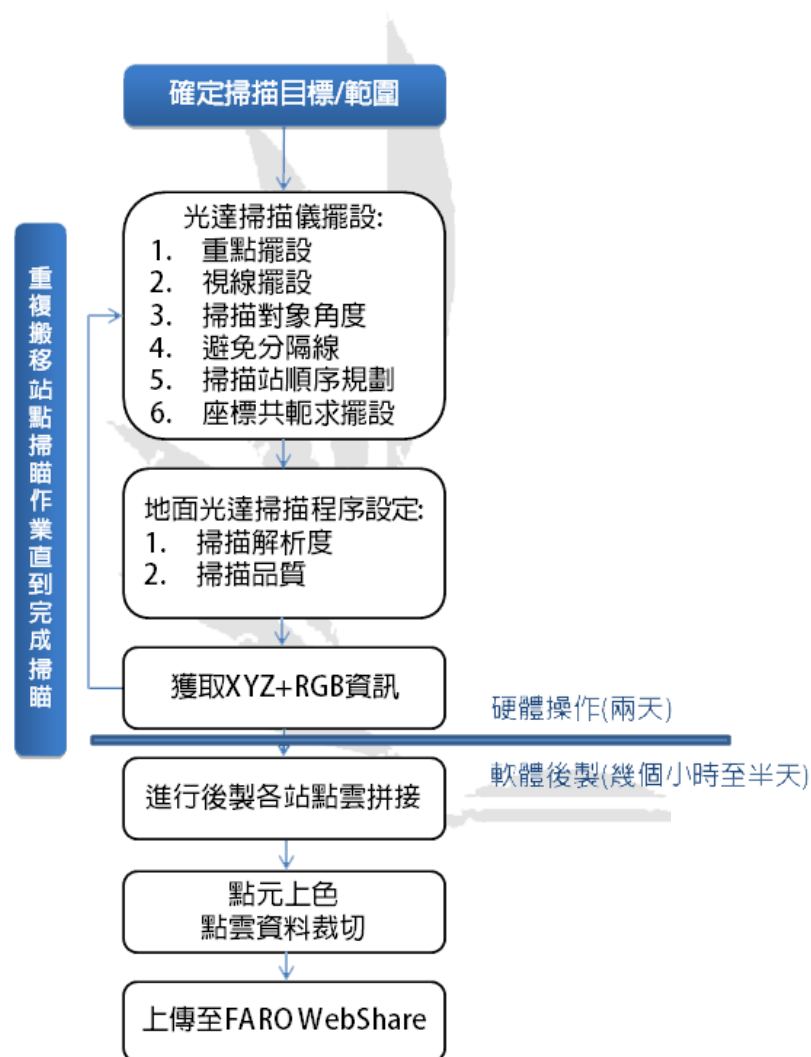


圖3-10-1 光達掃描製作模型流程圖

3-11 無人飛行器 DJI SPARK 曉

為實踐本研究的經濟與普遍價值，選用 DJI 大疆公司的初階無人飛行器 DJI Spark 曉作為無人飛行器掃描的設備，官方單機售價為 13500 台幣。若選購更高階的無人飛行器，不僅畫質能夠提升，圖像傳輸距離與飛行操控穩定度也會提高。Spark 擁有一體化設計的二軸雲台與 2000 萬畫素相機緊密結合。動力上在 4 級強風中仍能穩定懸停。若搭配 DJI Spark 專屬遙控器，則能擁有遠達 2 公里的 720p 圖像傳輸與控制距離，即時圖像傳輸對於大範圍掃描作業有相當幫助。Spark 在滿電情況下最長可飛行 16 分鐘，但為確保掃描作業程序完整，依照掃內容建議購買多顆電池。作為消費級無人飛行器，Spark 擁有 3D 傳感系統，能夠掃描前方 5 米內的三維空間，讓 Spark 能夠及時精確感知前方障礙物。



圖3-11- 1 Spark 全能套裝內容

(資料來源:DJI 官網)

3-12 無人飛行器飛行前準備

飛行前環境分析

在飛行前須了解當地的環境狀況，市面上已有許多免費或付費 APP 提供資料可以做參考，而依照免費 APP— UAV Forecast，可以分為以下12種環境影響因素：天氣、日照日落、溫度、風速、陣風、風向、降雨機率、雲覆蓋率、能見度、衛星、Kp 值、衛星鎖定；如有任何一項因素不符合飛行需求，則不建議起飛。

其中風速與陣風是直接影響飛行器能否在當下飛行的一大因子，建議在規劃飛行時程時一定要參考預估的風速與陣風。衛星鎖定則是建議要有10個衛星的情況下再飛行。Kp 指數測量從0(平靜)到9(主要風暴)的範圍內由太陽活動引起的地磁擾動。任何等於或低於3或4的飛行東常是安全的。太陽活動以兩種方式干擾 GPS 信號，這是由於電離層中斷了與衛星的鎖定信號，而使 GPS 定位不準確。

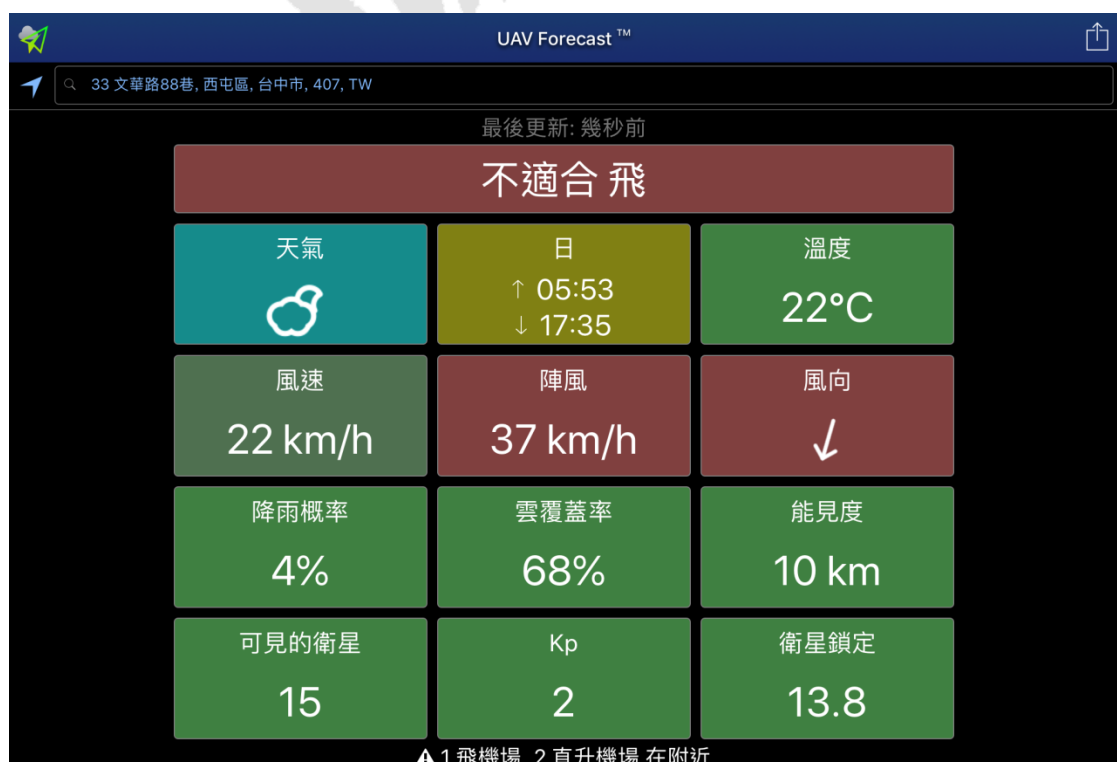


圖3-12- 1 UAV Forecast 介面

飛行前須上網了解基地的禁飛區與限飛高度，到達現場後建議先實地探勘，觀察基地周圍樓高幾公尺、是否障礙物與人車重要幹道，以避免飛行時碰撞。掃描前也建議先試飛掃描路徑，確定能夠安全平穩的掃描再進行作業程序。

因使用自由模式飛行掃描，可以先多了解掃描目標的特殊重點區域，即可再掃描時於此區域進行多次拍攝，增加建模時的資訊與完整度。

南屯萬和宮經調查，位於限飛高度60公尺區域內。但經過實地勘查，周圍建物低矮，飛行高度不需要超過樓高4層樓。

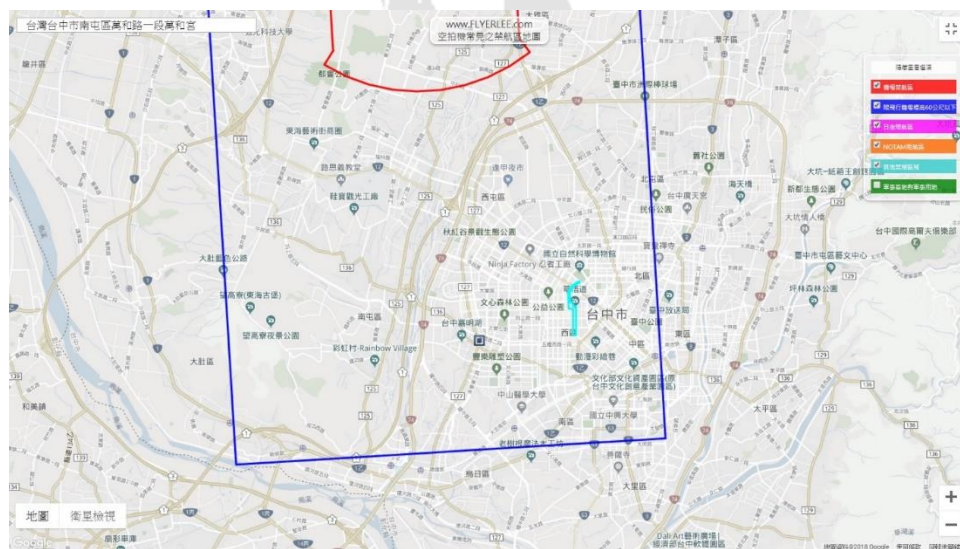


圖3-12-2 禁飛與限高區域範圍

飛行前設定與設備準備

在操作無人飛行機前，先確認 GPS、指北針與軟體是否已經更新與定位完整，依照連接手機或平板電腦 APP 的 DJI GO 介面進行操作設定。建議先從新手模式操作試飛。在飛行掃描前確認記憶卡已插入飛行器內，並使用 OTG (USB On The Go) 線材連接手機或平板電腦，確認並非使用 WIFI 圖傳信號至手機或平板電腦內，而使用線材圖傳，以達到高品質的即時圖傳訊息，也避免在掃描過程中失去視野控制。

3-13 萬和宮光達掃描與無人飛行器掃描

2018年11月29日，於南屯萬和宮進行第一次測繪掃描，同時進行地面光達掃描與無人飛行器掃描，總共五人進行看顧與操作。



圖3-13- 1 進行地面光達掃描作業



圖3-13- 2 進行無人飛行器掃描作業

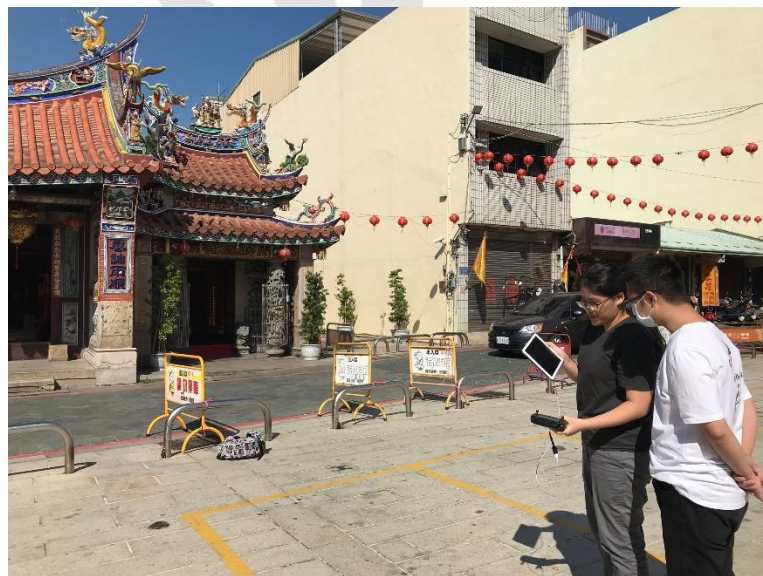


圖3-13- 3 進行無人飛行器掃描作業

3-14 Pix4D Capture 軟體操作

先使用 DJI GO 使飛行器起飛，再把介面轉至 Pix4D Capture 進行掃描路徑規劃。因研究選購的無人飛行器為初階機種，Pix4D Capture 並無支援自動規劃掃描路徑的掃描功能，因此需使用手動飛行模式來進行掃描。原則上掃描路徑還是依照格子狀式的掃描方式，且相機視野須跟隨路徑轉彎拍攝，才能拍攝到完整的建築物各個角度。

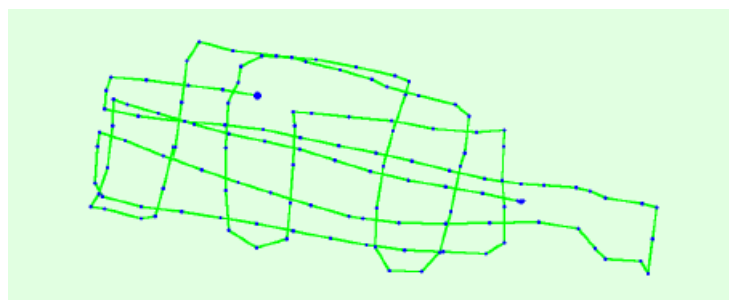


圖3-14- 1 萬和宮無人飛行器掃描水平路徑

掃描完成後可現場即時上傳所有照片資訊至 Pix4D Mapper Cloud 進行雲端建模作業，或是從記憶卡抽取使用照片至電腦於 Pix4D Mapper Desktop 進行運算作業，若要進行近一步的點雲資料處理，建議使用後者方式，較不用再從 Cloud 重新下載所有檔案，可以設置的選項也較多元。

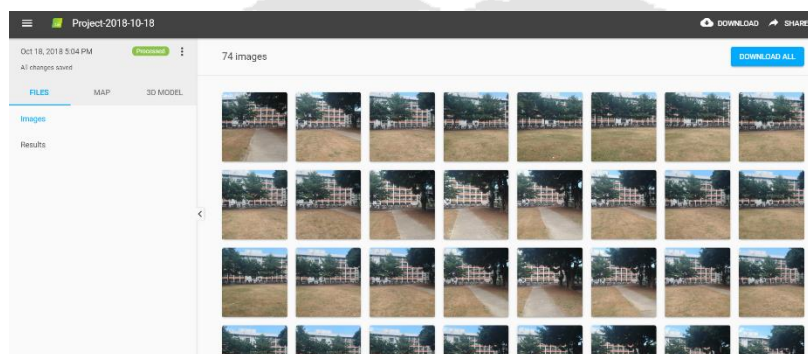


圖3-14- 2 Pix4D Mapper Cloud 介面

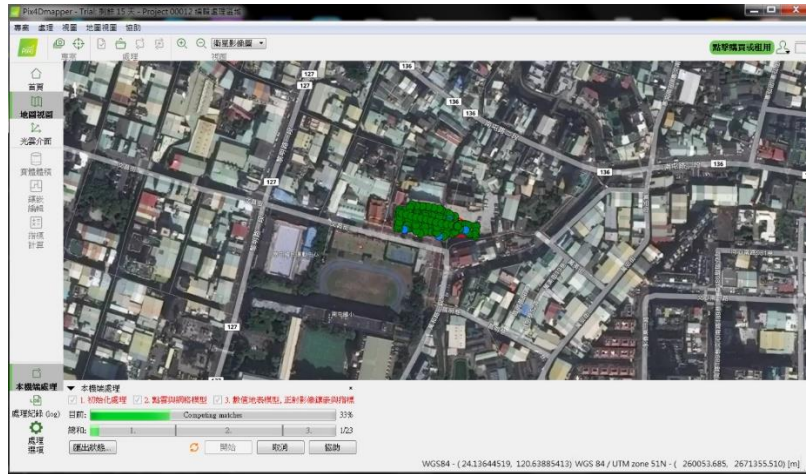


圖3-14- 3 Pix4D Mapper Desktop 介面

若使用 Pix4D Mapper Cloud 則只須上傳附有 POS(外方位元素)資訊的照片即可於 Pix4D 提供的雲端運算出模型資訊。POS 資訊如下：相片號、緯度、經度、高度、俯仰角、翻滾角與航偏角。部分無人飛行器進行拍攝時也一併紀錄 GPS 訊息至相片內，Pix4D 能夠自動提取相片中的訊息，且不須拍攝照片的相機姿態，Pix4D 只需要相片號、緯度、經度與高度即可。

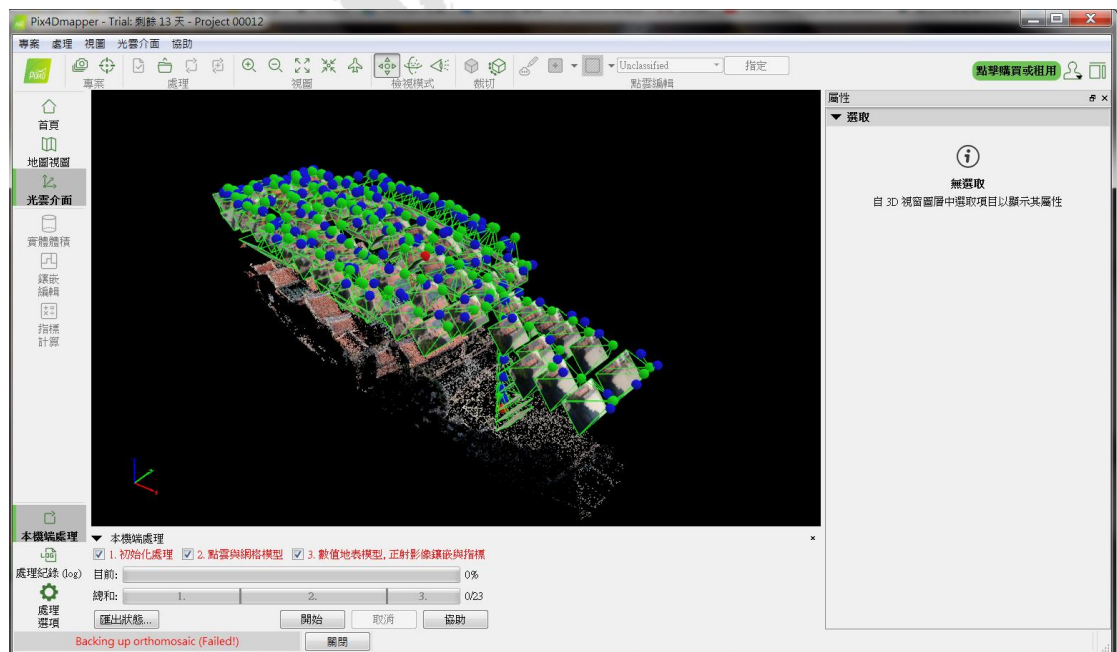


圖3-14- 4 運算後的光雲介面

3-15 Pix4D Mapper 檔案輸出

Pix4D Mapper Cloud 與 Pix4D Mapper Desktop 檔案可以互相上傳與下載，在 Pix4D Mapper Desktop 的設定選項較多元，如需較細緻的設定調整，建議在此運算模型檔案，避免重複運算的時間浪費。

三個階段皆運算完成後，會產生一個最後報告表 Quality Report Pdf 檔案可開啟瀏覽所有2D 成果。

Quality Report Generated with Pix4Denterprise version 4.3.31

Important: Click on the different icons for:

- Help to analyze the results in the Quality Report
- Additional information about the sections

Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	Project-2018-10-30
Processed	2018-10-30 23:05:43
Camera Model Name(s)	FC1102_4.5_3968x2976 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.91 cm / 0.36 in
Area Covered	0.011 km ² / 1.1493 ha / 0.00 sq. mi. / 2.8416 acres
Time for Initial Processing (without report)	26m:03s

Quality Check

Images	median of 35617 keypoints per image	✓
Dataset	285 out of 289 images calibrated (98%), all images enabled	✓
Camera Optimization	1.09% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓

圖3-15- 1 最後產出的報告表

Summary

Project	Project-2018-10-30
Processed	2018-10-30 23:05:43
Camera Model Name(s)	FC1102_4.5_3968x2976 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.91 cm / 0.36 in
Area Covered	0.011 km ² / 1.1493 ha / 0.00 sq. mi. / 2.8416 acres
Time for Initial Processing (without report)	26m:03s

圖3-15- 2 大綱

掃描品質確認表可以檢視，此次掃描與建模運算的資訊，

若右側有綠色打勾圖樣則代表品質足以運算較為精準的資訊。圖中有黃色警告標誌為地理依據項目，雖有 GPS 定位，但此次掃描並沒有設置 GCP(Ground Control Points，類似共軛球功能)作為地面定位系統。因此被此報告表認為定位不夠完整。

Quality Check



🔍 Images	median of 35617 keypoints per image	✔
🔍 Dataset	285 out of 289 images calibrated (98%), all images enabled	✔
🔍 Camera Optimization	1.09% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✔
🔍 Matching	median of 12924.1 matches per calibrated image	✔
🔍 Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠

圖3-15-3 掃描品質確認

在疊圖程度圖裡面，綠色為五層以上的疊圖覆蓋率，盡量讓重點區域被綠色範圍覆蓋，以得到最好的掃描品質。若有較差的疊圖資訊，可以再次回到基地針對部分區域掃描，加入之前的照片圖集重新運算，得到精準度提升的建模資訊。

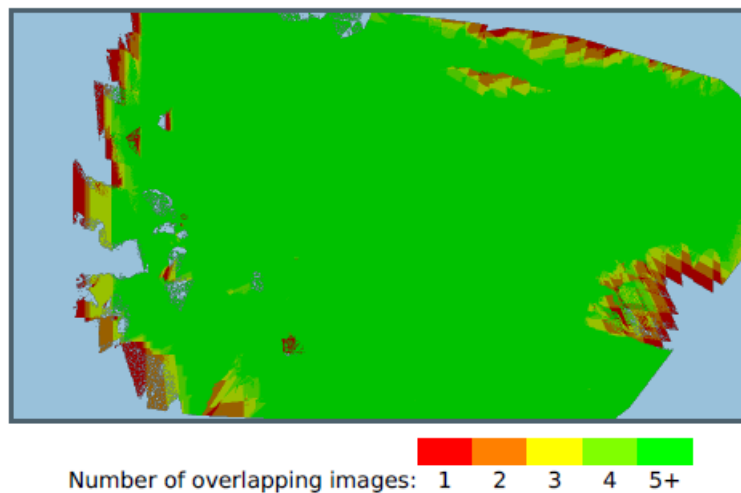


圖3-15-4 疊圖程度圖

正射影像是一種經過幾何糾正（比如使之擁有統一的比例尺）

的航攝像片，與沒有糾正過的航攝像片不同的是，人們可以使用正射影像量測實際距離，因為它是通過像片糾正後得到的地球表面的真實描述。同傳統的地形圖相比，正射影像或正射影像圖具有信息量大、形象直觀、易於判讀和現勢性強等諸多優點，因而常被應用到地理信息系統(GIS)中。網絡上的 Google 地球就是使用的正射影像。(維基百科)

DSM(digital surface model，數值表面模型) 則是可以從2D 上顯示表面高度變化的圖形。

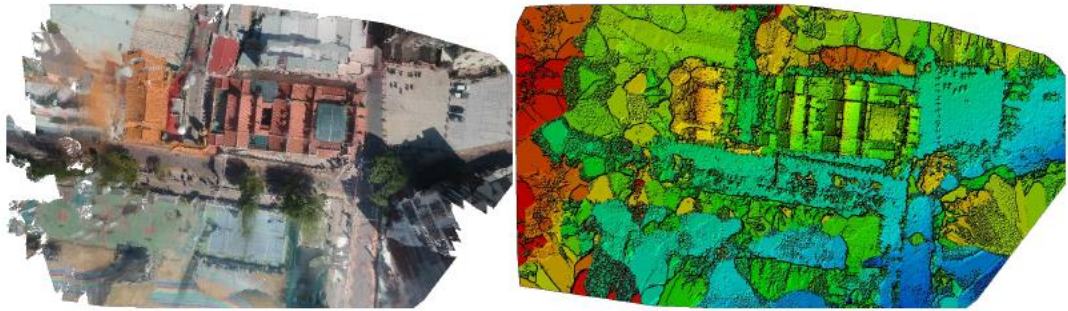


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

圖3-15- 5 正射影像與 DSM 圖

Pix4D 會偵測每張相片上的重點(Key Point)，作為連接各個相片資訊並建模的重要比對資料。這張圖顯示在掃描拍攝的路徑上的各張照片與其他照片的關聯性強弱。綠色圈越大，拍攝位置定位資訊越不清晰，而黑線代表照片間較強烈的重點連接，灰線代表較弱的照片間的重點連接。

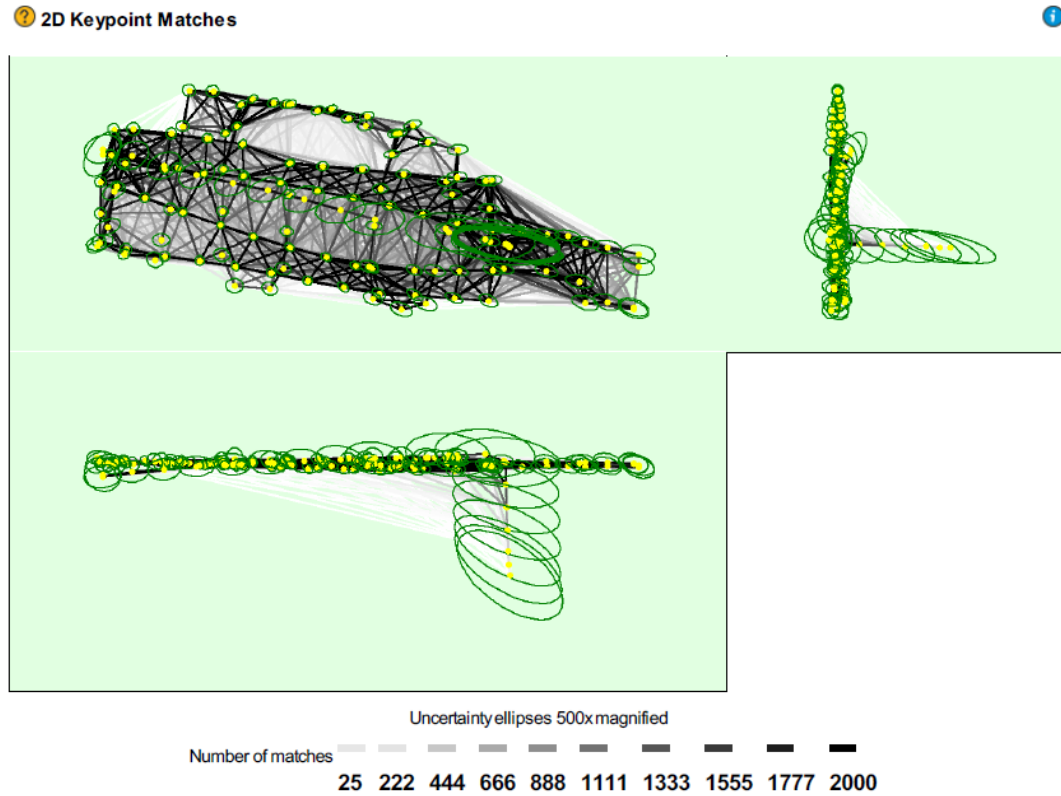


圖3-15-6 路徑與重點對照圖

因本研究須利用 Unity 遊戲引擎進行模型應用，可輸出 Obj 檔案並以 Rhino 軟體開啟，先貼上一併從 Pix4D 匯出的材質，再存檔放入 Unity 遊戲引擎測試模型效果。但如果要與地面光達點雲資料統合成更精準且全面的點雲資料，則必須輸出 Las 檔案再匯入 Autodesk ReCap 軟體裡進行整合。

3-16 Autodesk ReCap 點雲模型建立

Autodesk ReCap 是點雲處理軟體，各式測繪掃描產出的成果，可將其點雲檔案透過 ReCap 進行處理，並提供通用的格式數據串接於其他軟體中。也可直接使用 ReCap 現實捕捉軟體將現實轉換為可供進一步設計的3D 模型或2D 圖形。本次研究使用 ReCap 僅作為整合多個點雲資料的應用軟體，最後再產出能在 Unity 遊戲引擎應用的3D 模型檔案。

Autodesk 提供各式教育版本的免費下載，功能上卻有些許限制，例如 ReCap Pro 只提供最多100張的照片建模作業，也就是建築模型最大範圍是被限制住的，但在本次研究中還是得以用教育版本證明模型整合的可行性與 Unity 的應用可能。

首先申請 Autodesk 學生帳號，在網頁上選擇符合本機系統軟體與語言並下載 ReCap Pro 軟體。這邊須注意若要使用 ReCap Photo，則需下載2018年版本以上的 ReCap Pro，安裝檔案才有附夾在裡面。

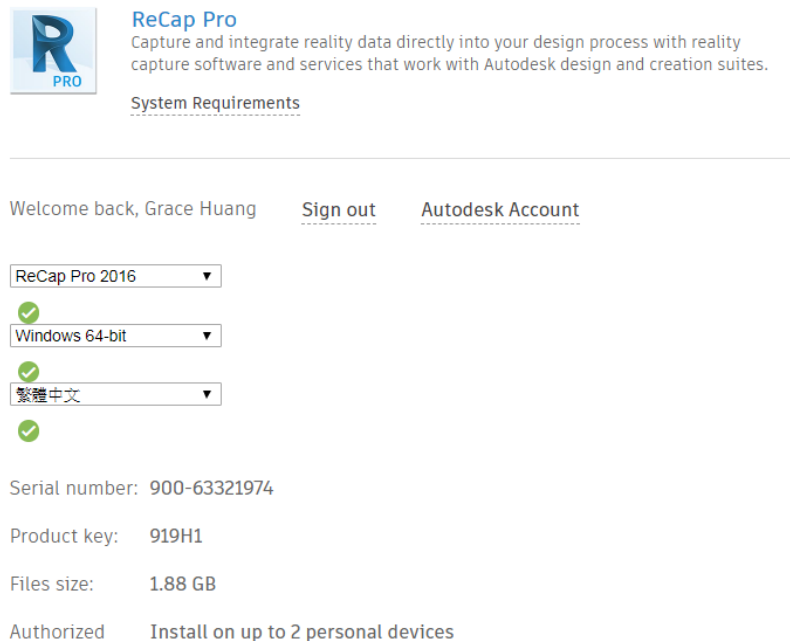


圖3-16- 1 教育版本下載畫面

使用 ReCap Photo 執行無人飛行器拍攝照片的建模程序。點下

Create 3D 的 Aerial 按鈕。

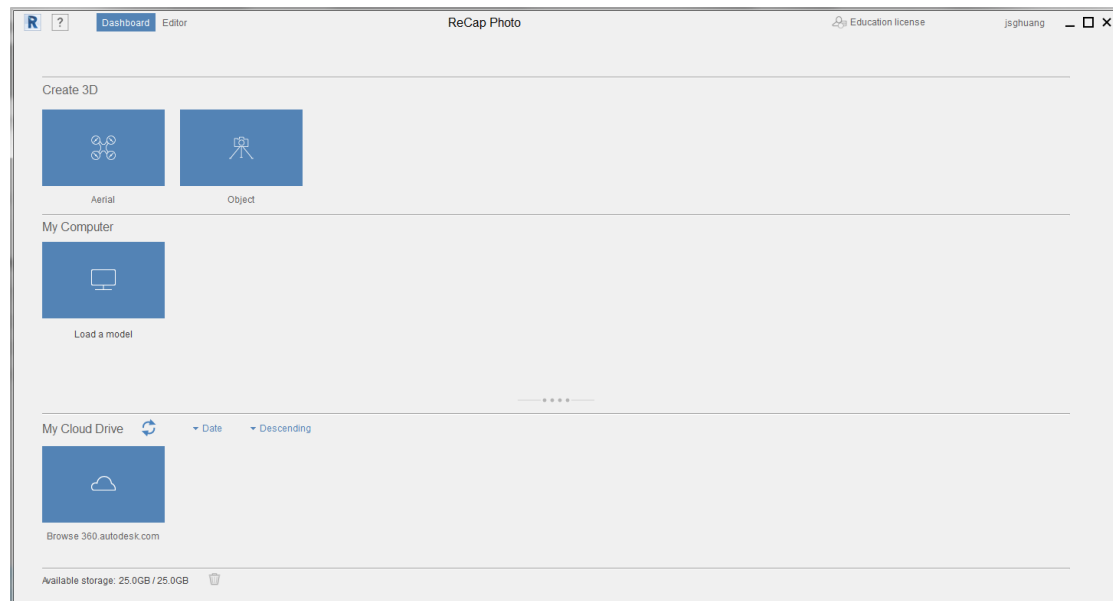


圖3-16- 2 ReCap Photo 起始介面

因教育版限制照片數量，所以匯入挑選後的100張拍攝到目標建築的照片。在選擇上盡量挑選拍攝到最多建築面的照片。

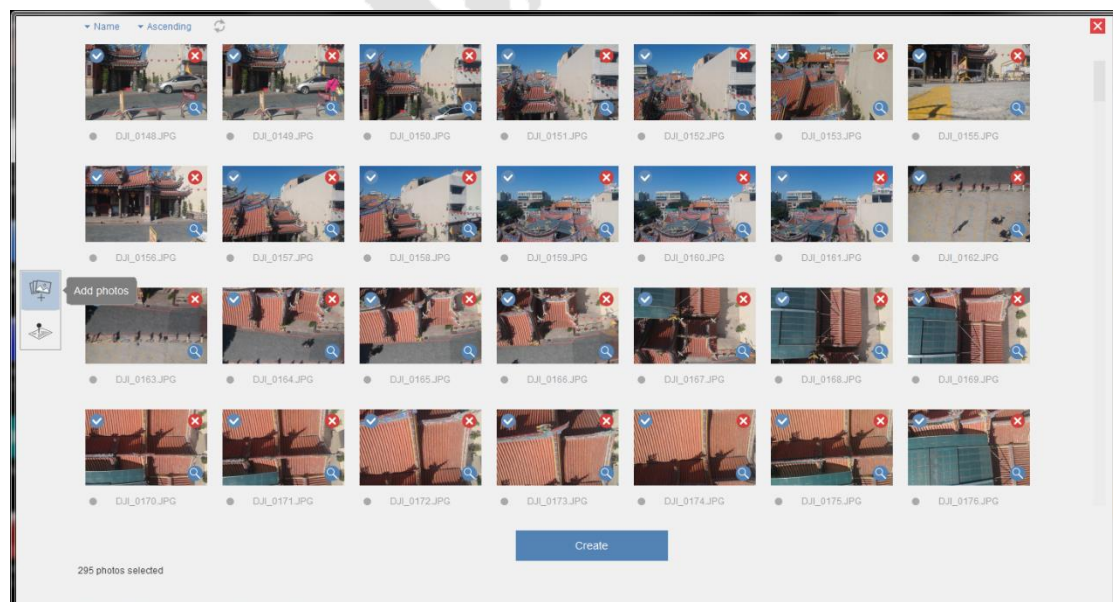


圖3-16- 3 照片匯入介面

創建專案時需命名以及建模檔案種類，輸出選項3D point cloud(RCS) 為必要勾選選項。

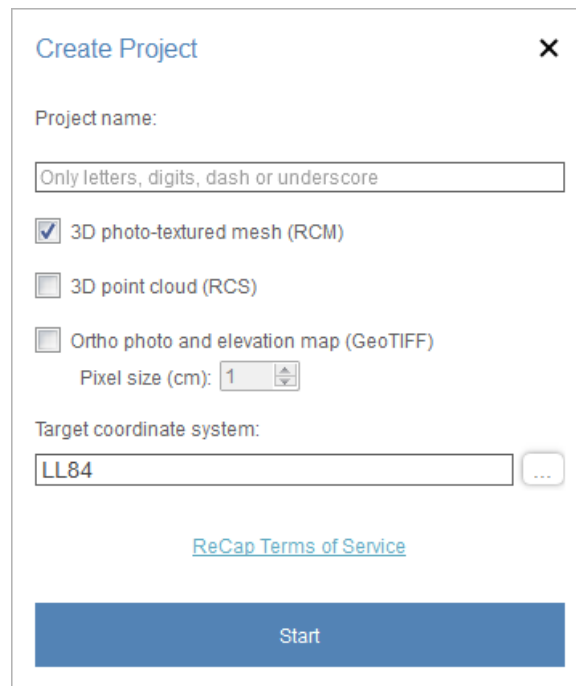


圖3-16- 4 專案建造視窗

Target coordinate system 需配合真實地理位置資訊選擇台灣的座標系統。可在搜尋欄打入 Taiwan，選擇 LL84座標系統，建模時較無錯誤訊息。

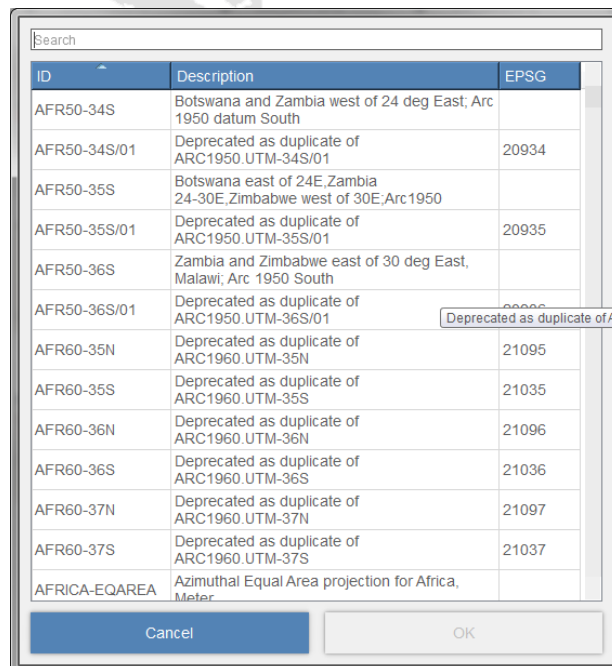


圖3-16- 5 座標系統選擇視窗

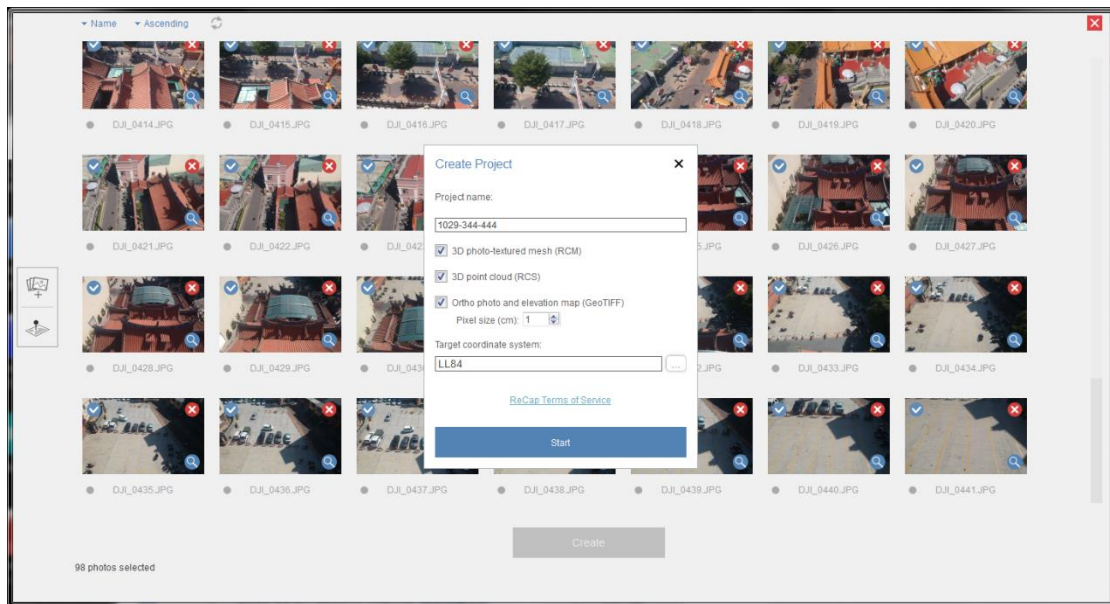


圖3-16- 6 創建專案視窗

點選開始建模按鈕後，ReCap Photo 會使用雲端硬碟進行建模處理，如此不會消耗電腦資源，建議在此可同時進行需使用本機電腦資源的地面光達點雲資料建模作以節省時間。

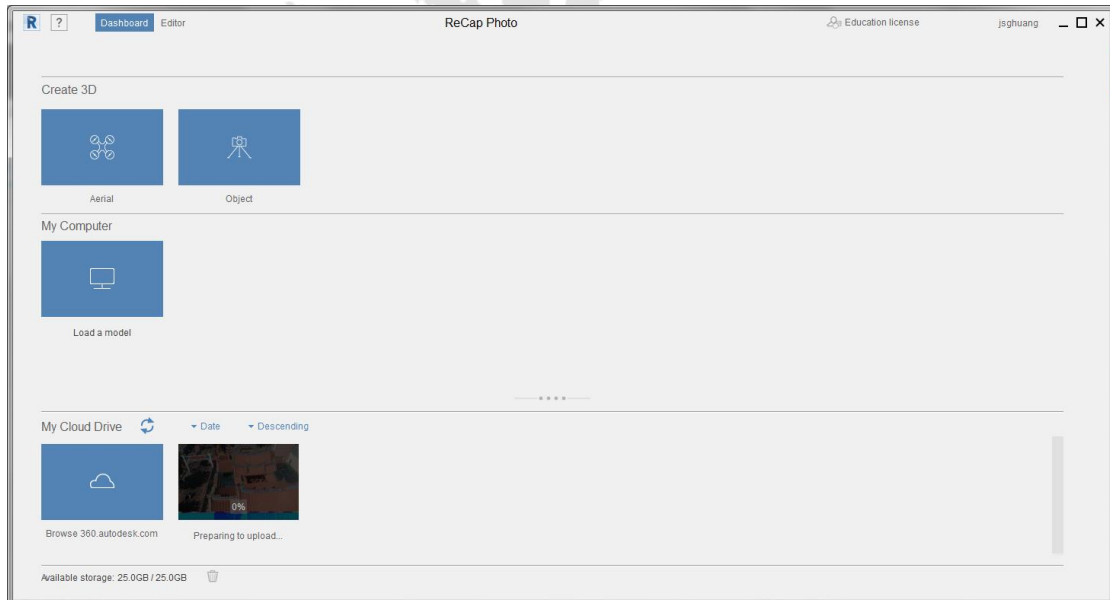


圖3-16- 7 雲端點雲建模處理中

雲端建模成功時，專案預覽圖會顯示 Ready to download 字樣，即可打開專案，進行模型修補與優化動作。

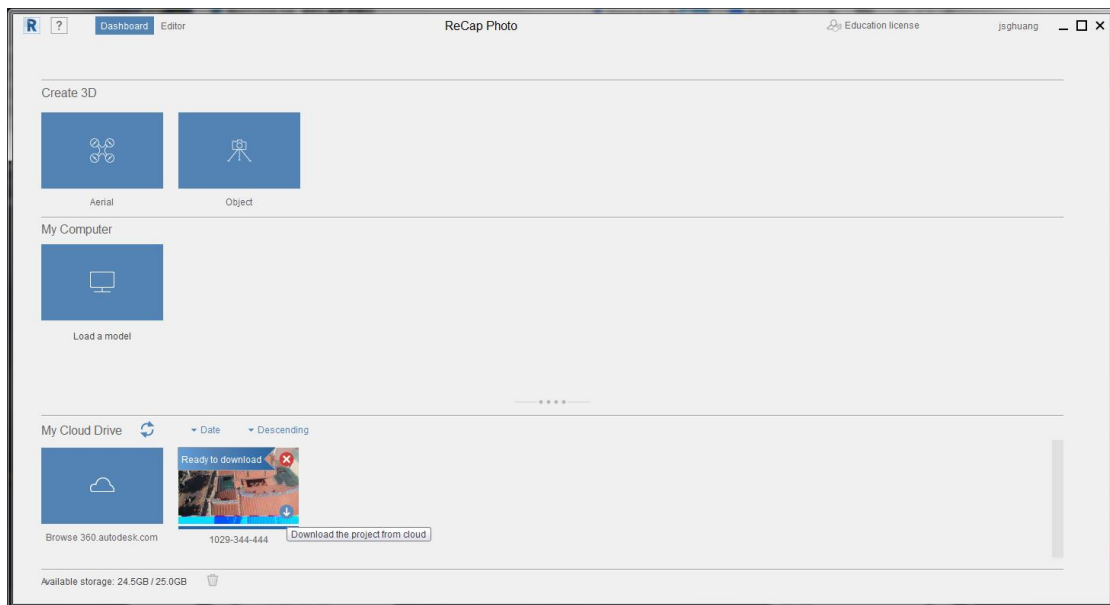


圖3-16- 8 雲端建模成功視窗

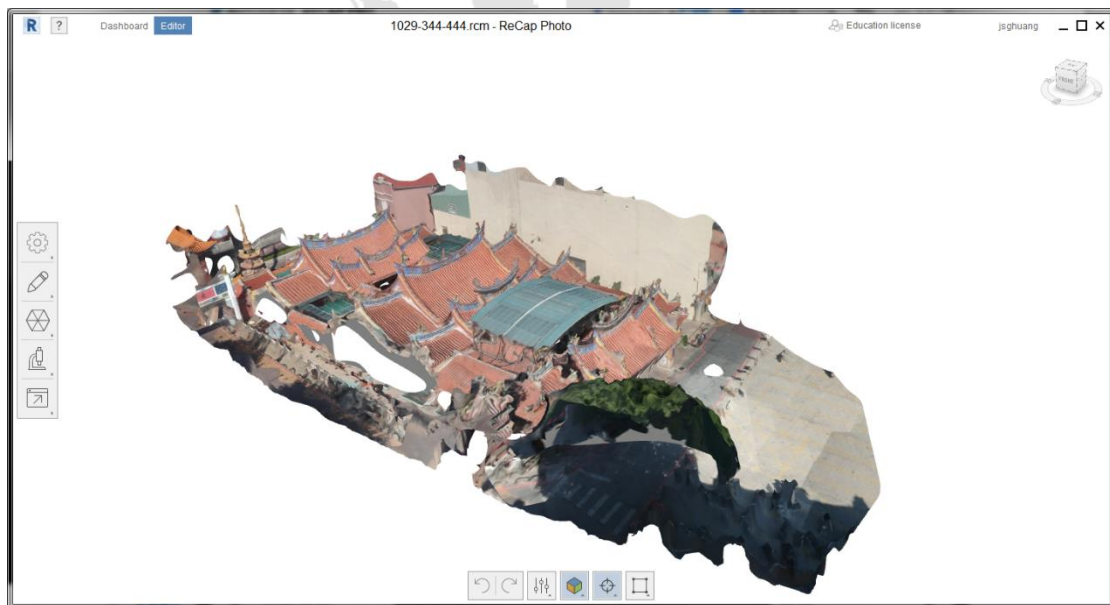


圖3-16- 9 建模成功之網格模型

Mesh report 會顯示模型資訊，包含面數、面積，體積等。面數往往影響後續應用程式執行時的電腦效能負荷，可視情況進行縮減面數。

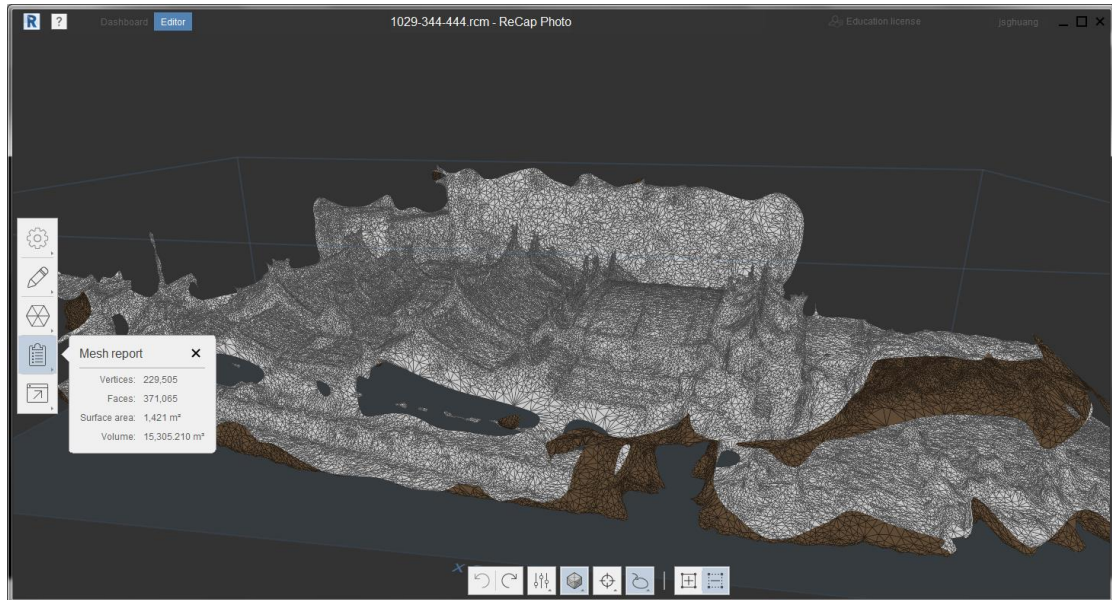


圖3-16- 10 網面圖形資料

輸出檔案時可選擇輸出檔案類型與面數百分比，因將要匯入 Unity 遊戲引擎，因此建議使用 .fbx 檔案進行匯出動作，兩者之間的相容性較高。

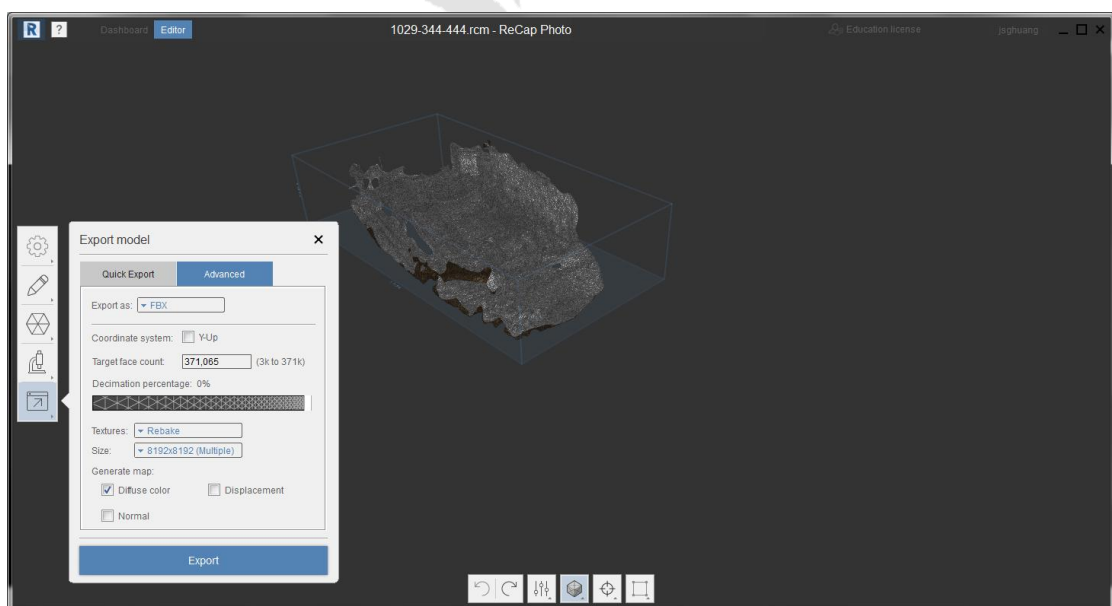


圖3-16- 11 匯出視窗

匯出模型後可看到多種檔案與壓縮檔案，選擇.rcs 檔案並解壓縮。找到解壓縮後的資料夾，找到 ReCap 可辨識的多個.rcs 檔案。

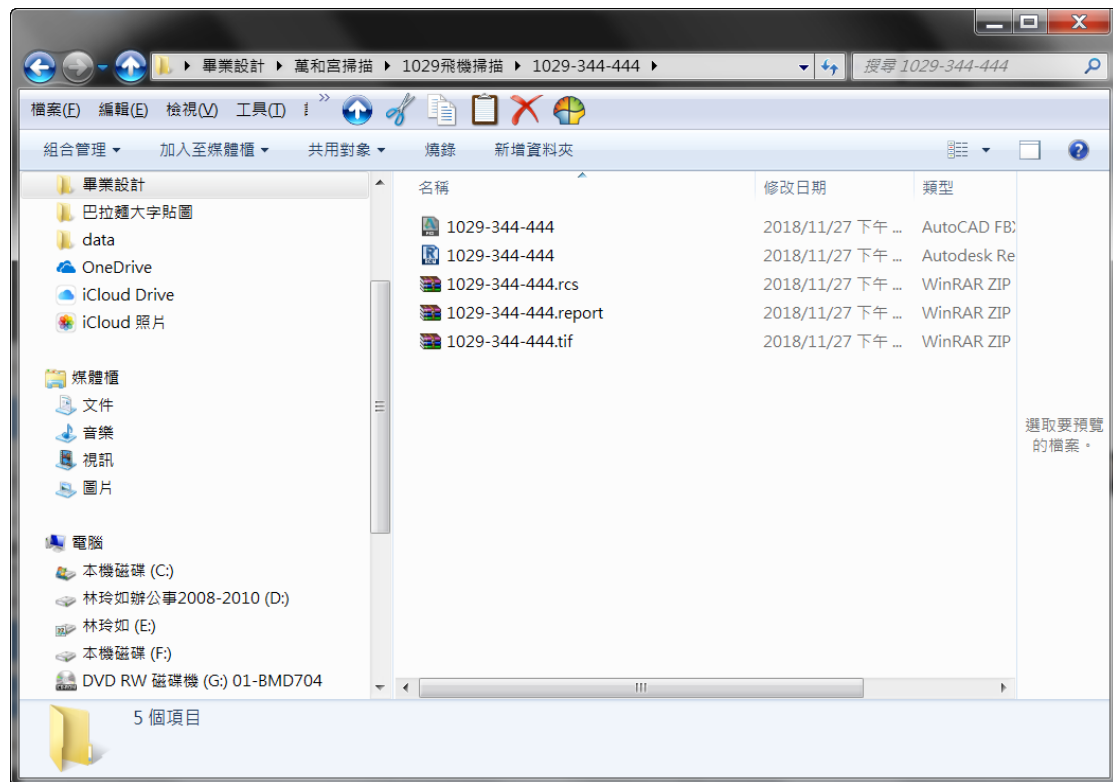


圖3-16- 12 匯出檔案全種類

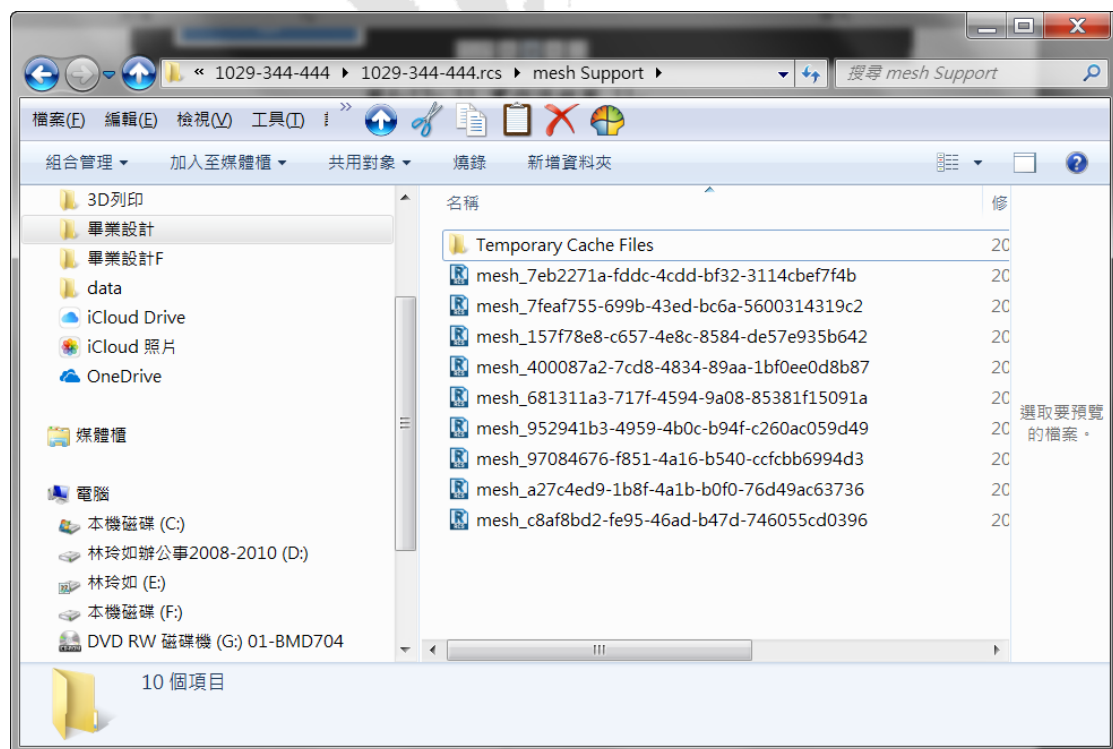


圖3-16- 13 可相容 ReCap Pro 的檔案種類

打開 ReCap Pro，並新增一個專案。選擇點雲匯入。

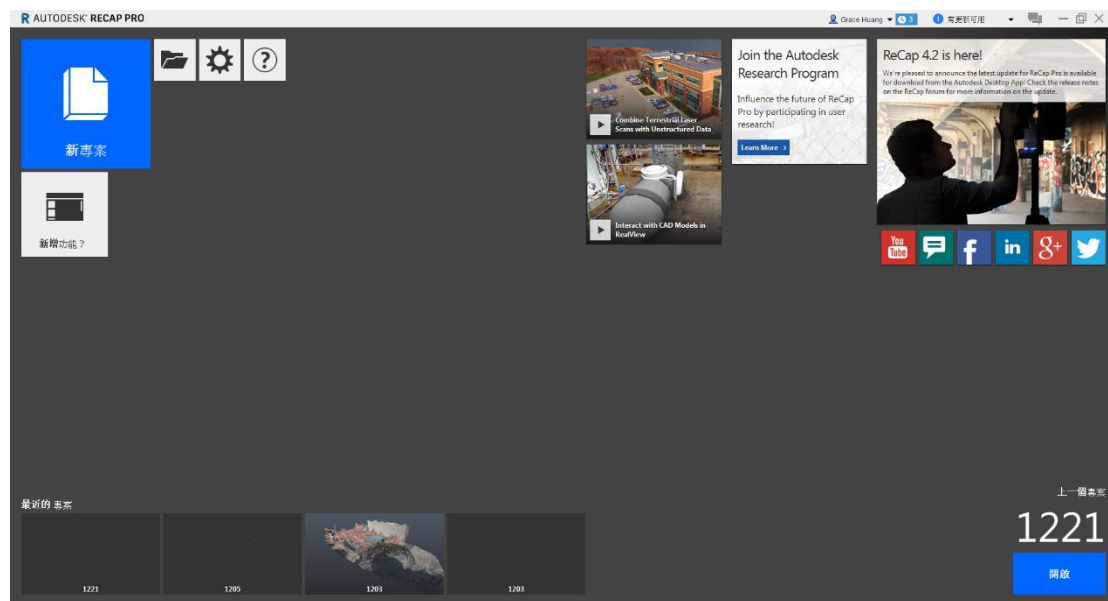


圖3-16- 14 ReCap Pro 起始介面



圖3-16- 15 匯入建模資料視窗

拖曳所有的地面光達點雲資料.flr 檔案至 ReCap Pro 檔案匯視窗。選擇篩選掃描最小即可點選匯入檔案按鈕開始作業。

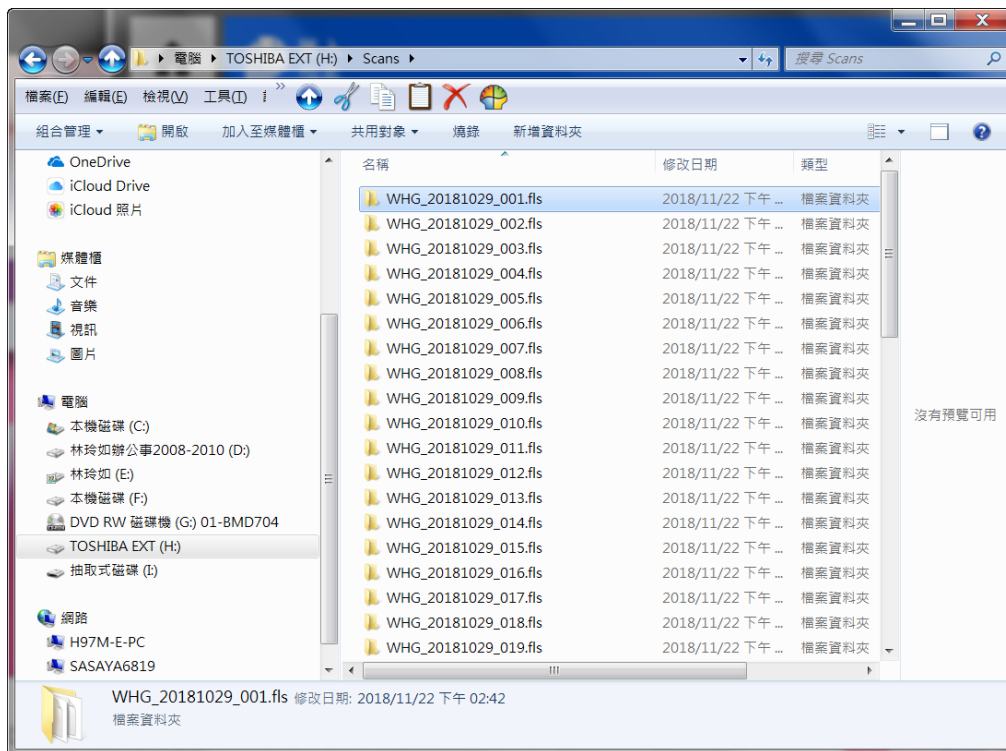


圖3-16- 16 地面光達點雲資料



圖3-16- 17 點雲資料匯入設定

自動登入掃描資料時因為會消耗大量本機電腦資源，建議不要在此時進行任何可能會消耗電腦資源的動作。完成自動登錄時，系統會通知尚未完成登錄的檔案數量，接下來需使用手動登錄動作。



圖3-16- 18 點雲資料自動登錄等待視窗

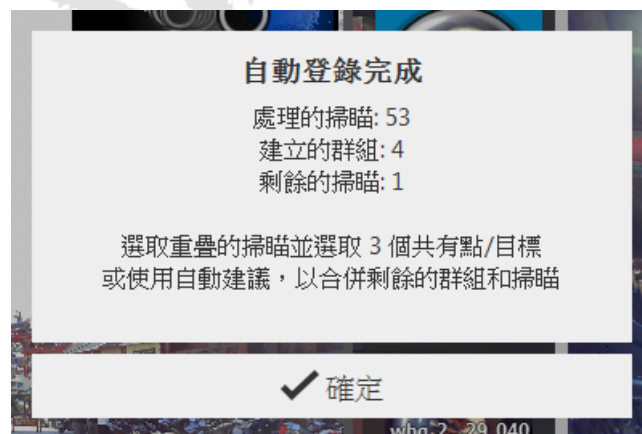


圖3-16- 19 自動登錄成功通知視窗

手動登錄時須注意在兩個不同點雲資料中找到相同的物件與面，而非角或空氣。登錄至一定程度時系統會自動計算偵測兩個點雲資料的相似度，若成功登錄即可完成合併掃描。

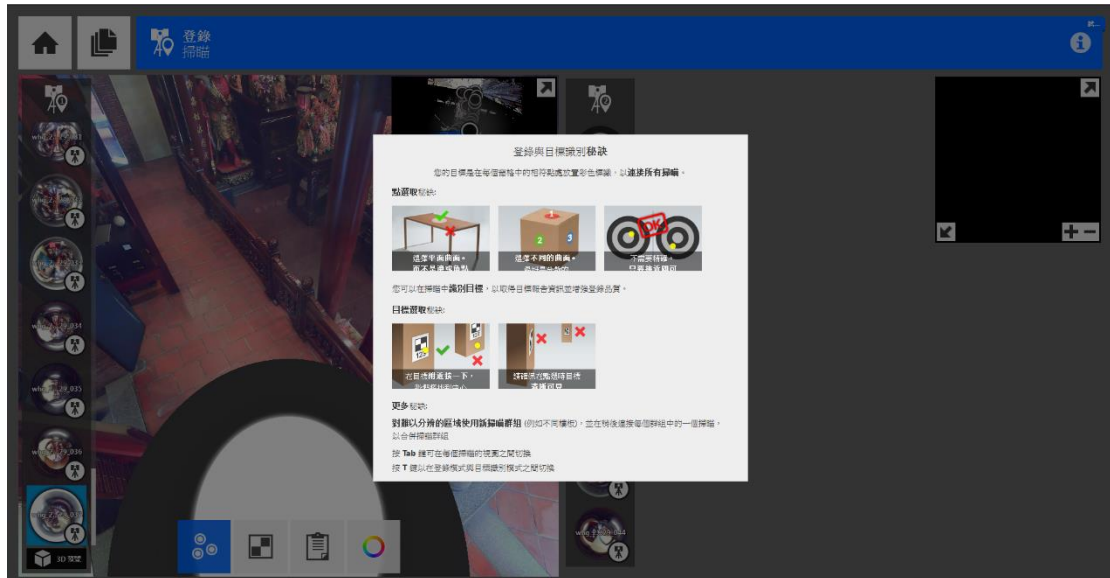


圖3-16- 20 手動登錄教學視窗

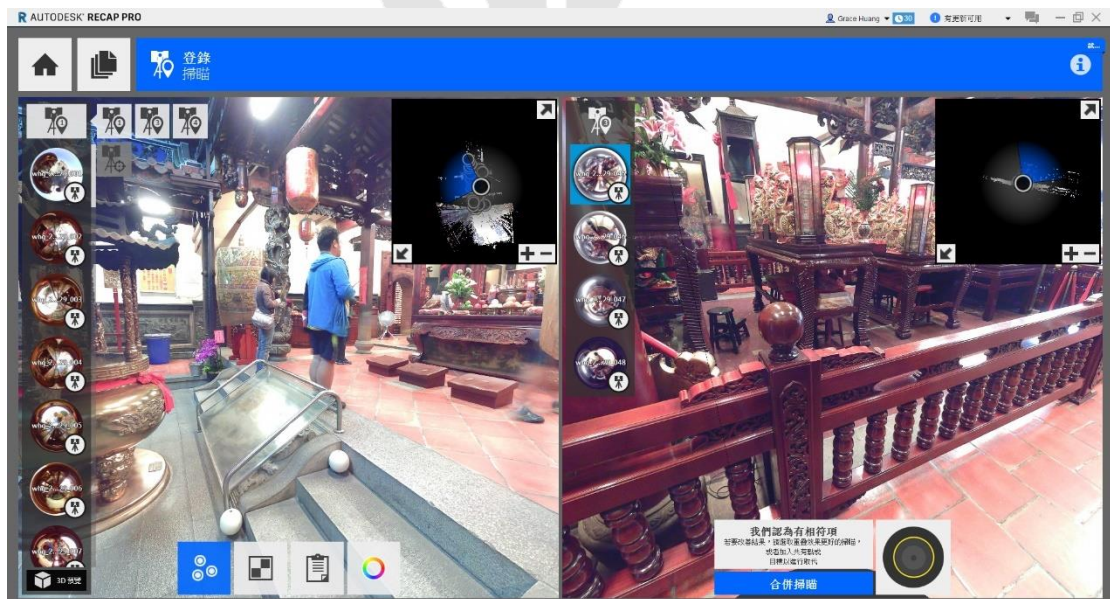


圖3-16- 21 手動登錄視窗

成功登錄所有資料後即可進行點雲建模運算，畫面中每個圓圈即是現場掃描建築時所待過的站點位置。滑鼠點下圓圈可以預覽地面光達掃描儀所擷取的 RGB 照片資訊。

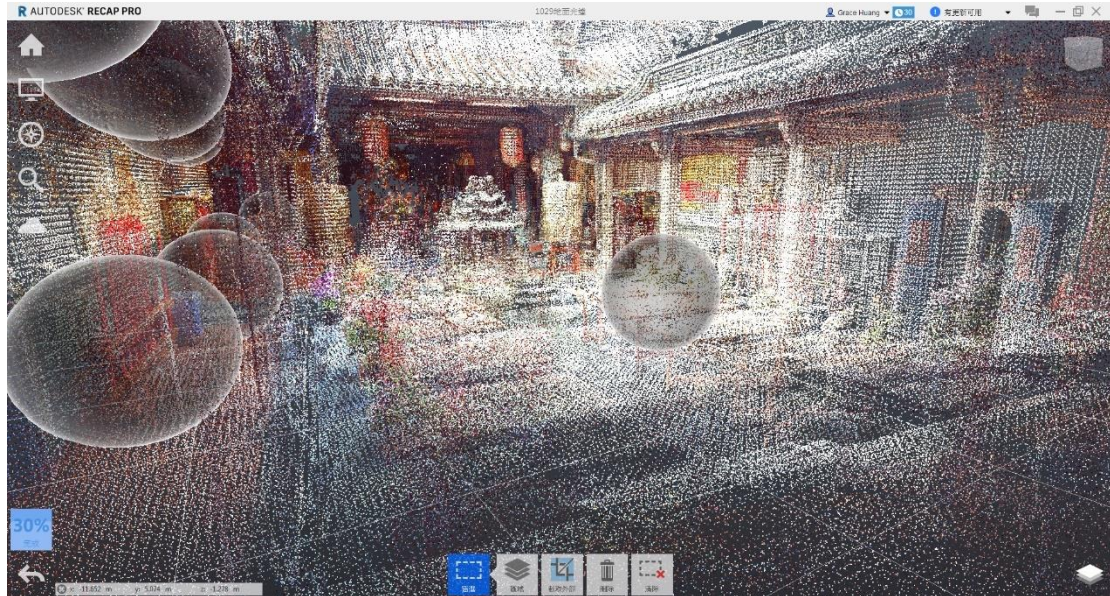


圖3-16- 22 點雲模型視窗室內

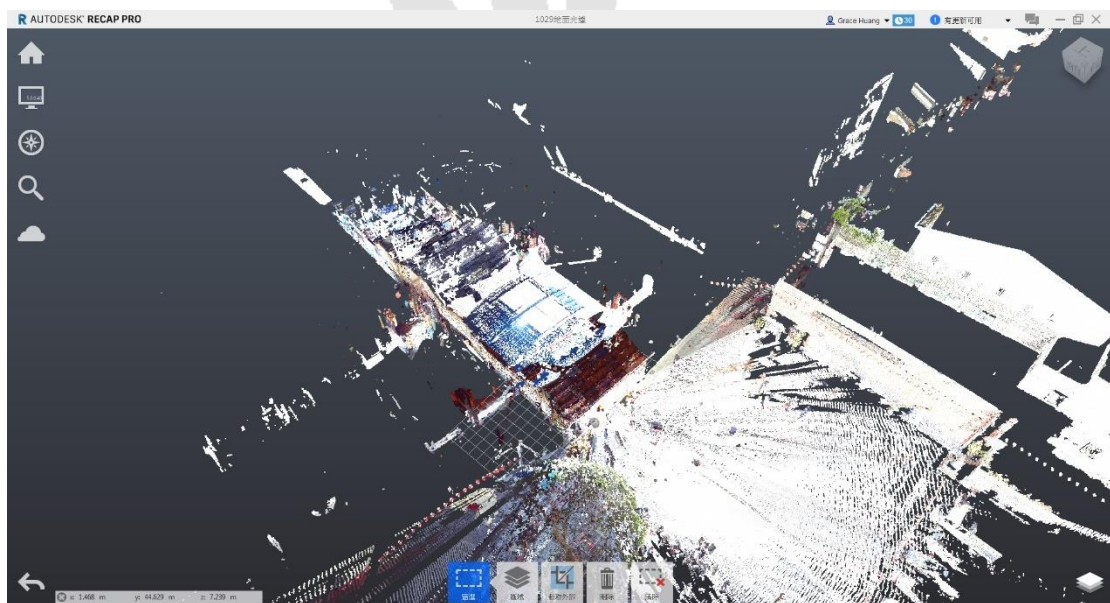


圖3-16- 23 點雲模型視窗室外



圖3-16- 24 某一站點照片

運算完成後系統會告知每個站點的精準度。若有數據異常，可再回到掃描現場重新掃描並匯入原有專案重新登錄。

標碼名稱	重疊	平衡	小於 6mm 的點
whg_20181029_040	48.3%	38.1%	97.2%
whg_20181029_041	43.8%	40.2%	98.1%
whg_20181029_042	45.4%	44.2%	99.9%
whg_20181029_043	43.0%	45.3%	99.9%
whg_20181029_044	42.2%	48.7%	100.0%
whg_20181029_053	49.0%	30.7%	99.7%
whg_20181029_045	62.0%	70.3%	99.9%
whg_20181029_046	60.7%	61.4%	99.8%
whg_20181029_047	54.3%	58.7%	99.7%
whg_20181029_048	50.8%	88.4%	99.8%
whg_20181029_049	45.0%	57.1%	99.9%
whg_20181029_050	53.5%	75.7%	99.9%
whg_20181029_051	54.5%	70.5%	99.9%
whg_20181029_052	41.4%	85.6%	99.8%

圖3-16- 25 點雲精準度報告

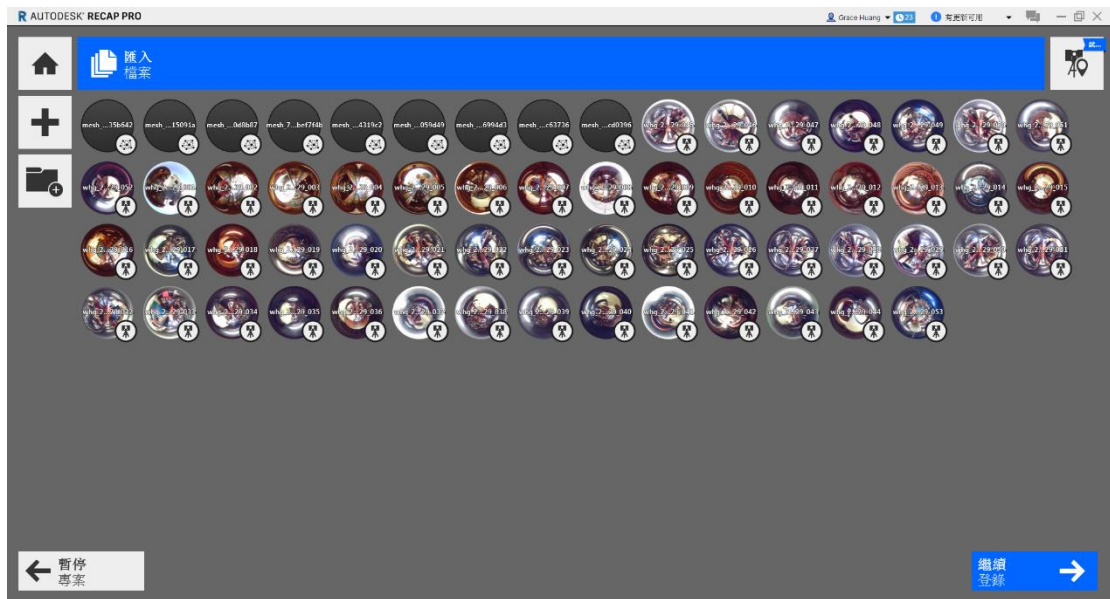


圖3-16- 26 匯入檔案視窗

匯入無人飛行器掃描點雲檔案 rcs.進行額外手動登錄作業。因點雲資訊結構問題，無法一次丟入無人飛行器掃描點雲檔案與地面光達掃描儀進行運算，無法完成自動登錄。

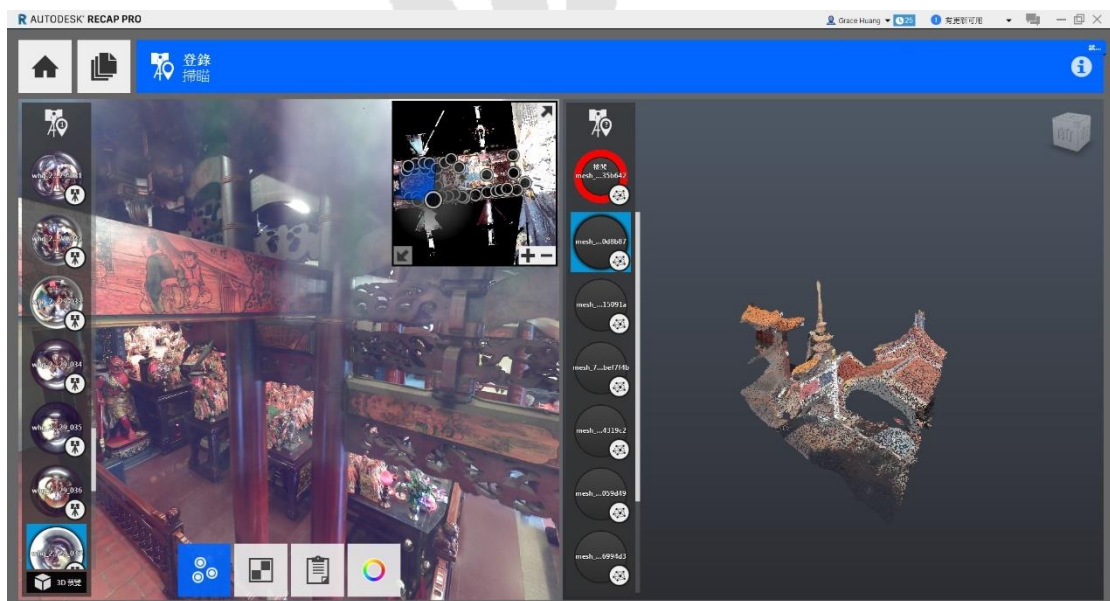


圖3-16- 27 地面光達與無人飛行器點雲資料登錄

手動登錄無人飛行器點雲資訊。因資訊較為破碎，需耐心與時間慢慢登錄，可時常3D 預覽檢查接模作業是否完整。

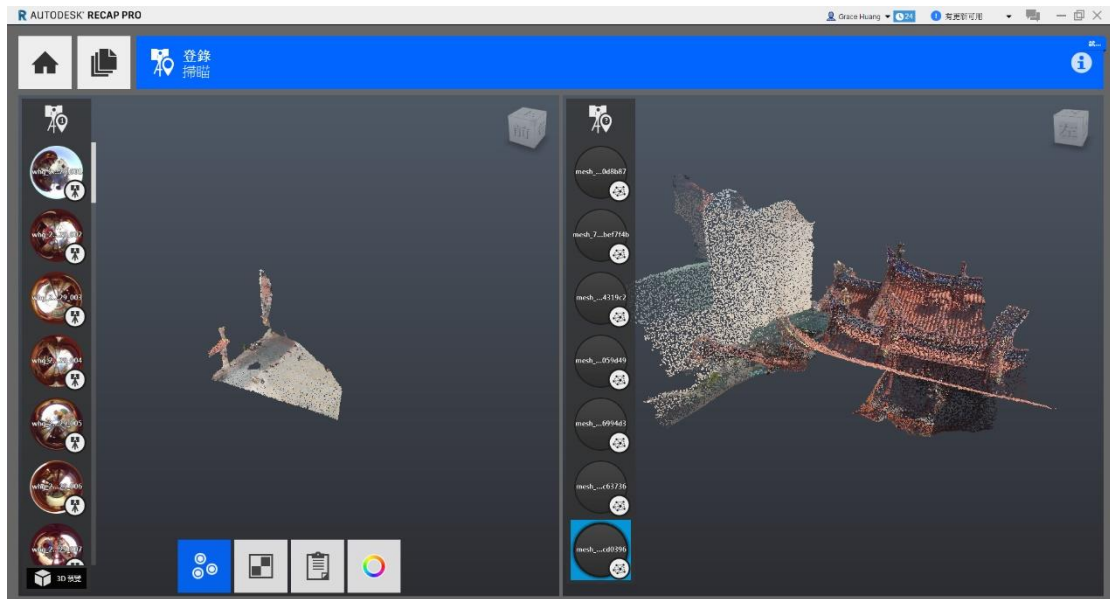


圖3-16- 28 無人飛行器點雲資料登錄

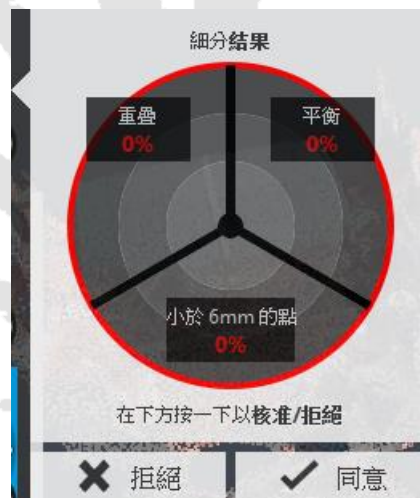


圖3-16- 29 登錄結果同意視窗

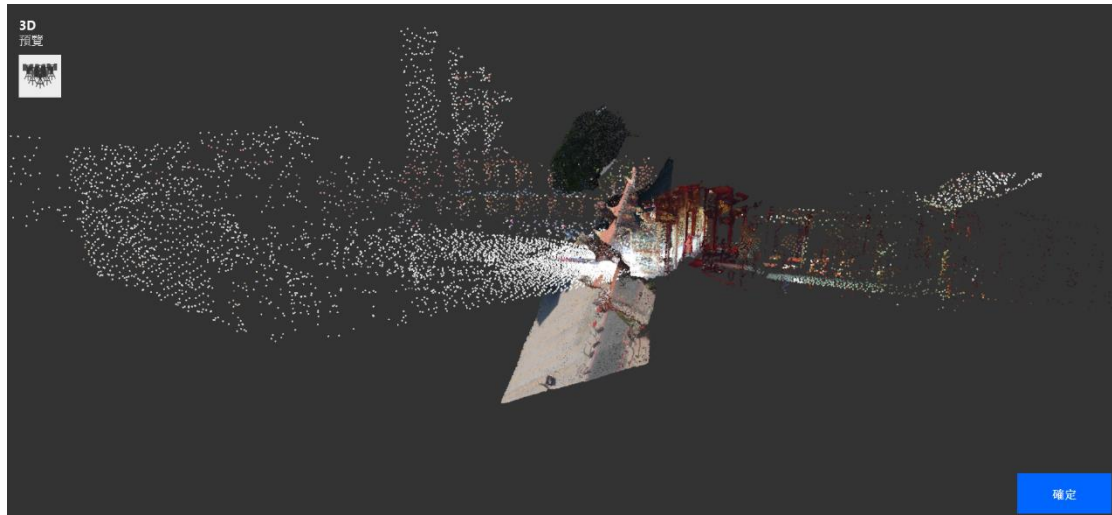


圖3-16- 30 登錄不精準的點雲模型預覽



3-17 CloudCompare 模型整合

利用 ReCap 或 Pix4D Capture 匯出的 e57 檔案，放入 CloudCompare 點雲後製軟體中。

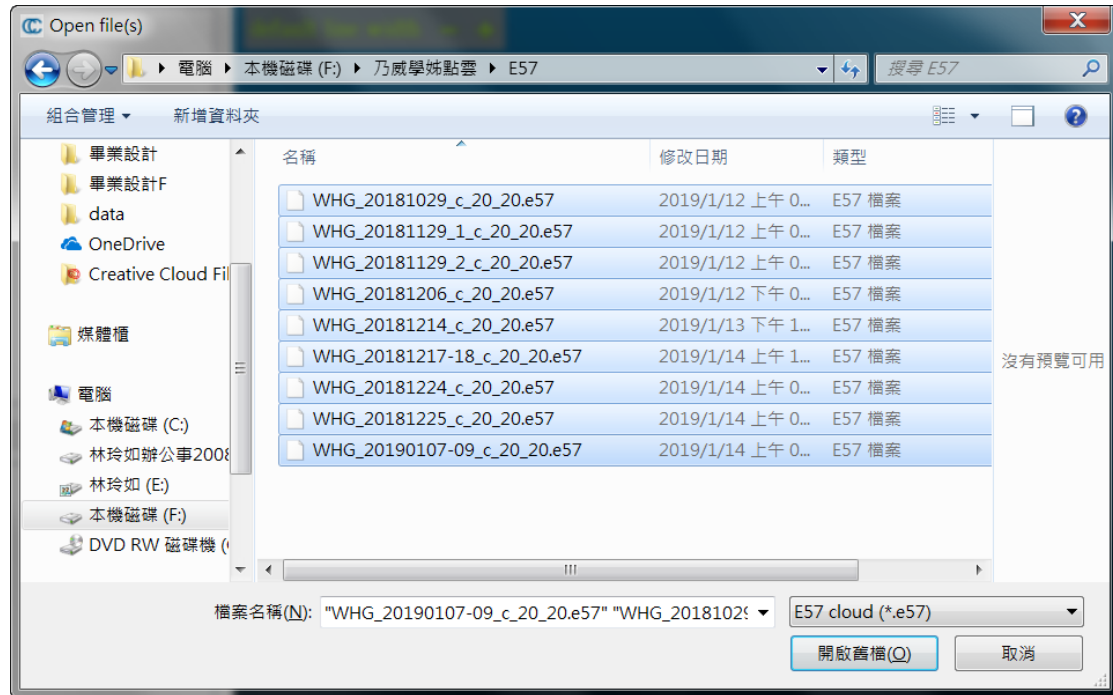


圖3-17- 1 可一次輸入大量點雲檔案

開啟舊檔匯入地面光達掃描儀的點雲資訊 e57 檔案。

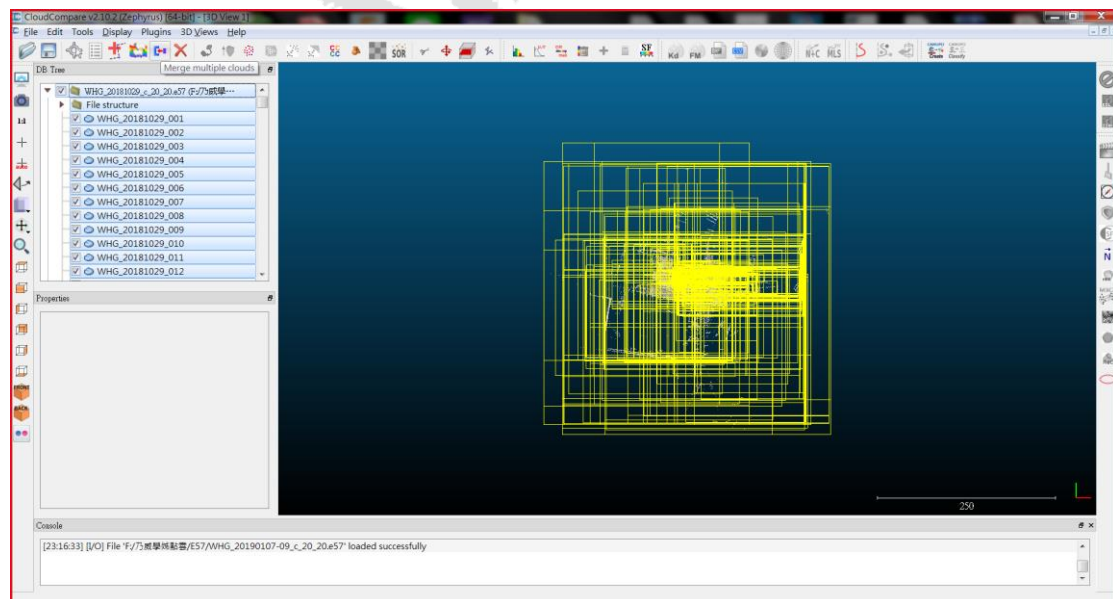


圖3-17- 2 合併點雲資訊

合併所有地面光達掃描儀的點雲資訊。

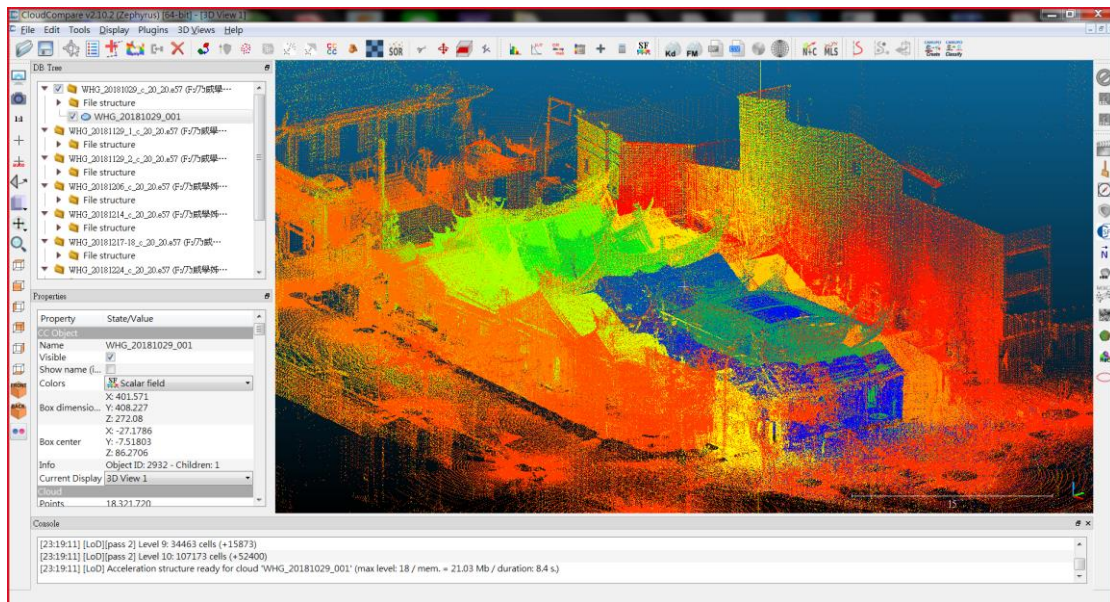


圖3-17- 3 Scalar fields 畫面

將 Scalar fields 改成 RGB 顯示。

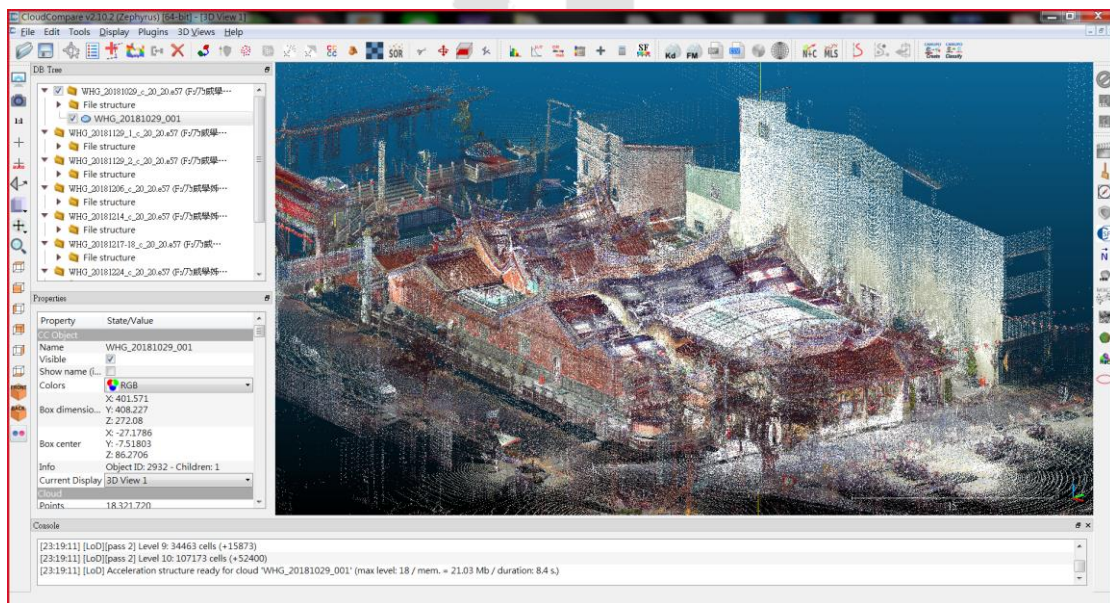


圖3-17- 4 RGB 點雲畫面

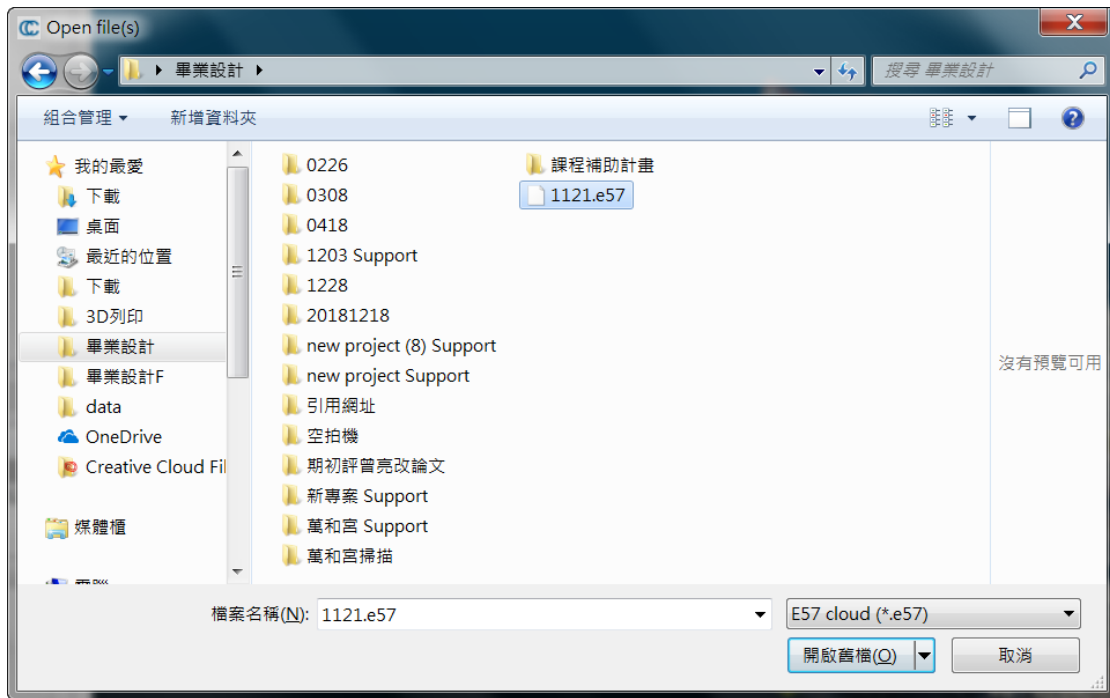


圖3-17-5 匯入無人飛行器模型

匯入無人飛行器的點雲模型，同樣為 e57 檔案。

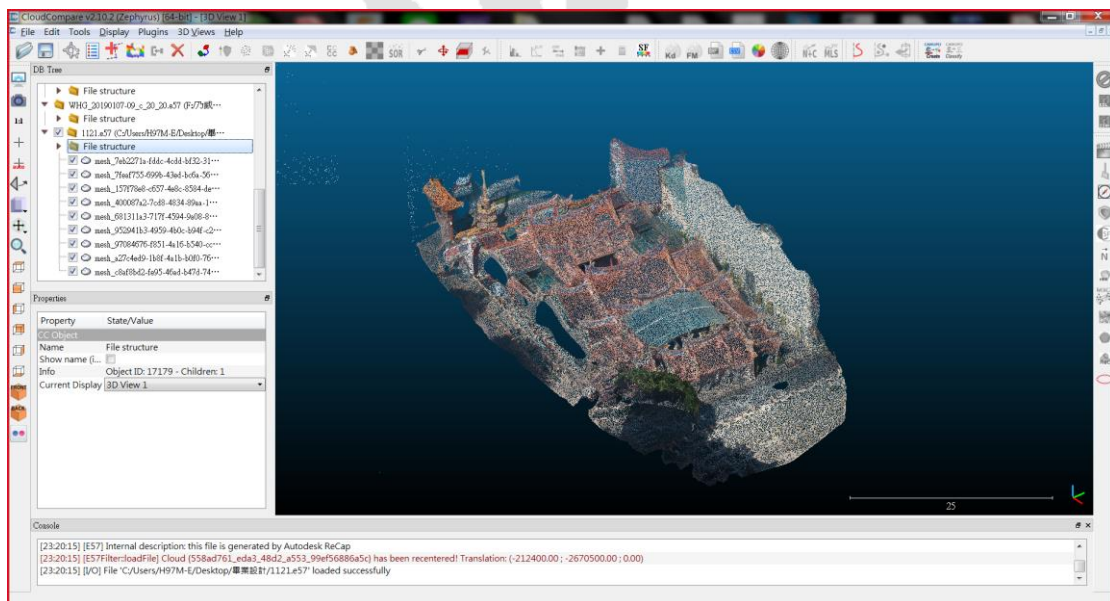


圖3-17-6 無人飛行器點雲模型

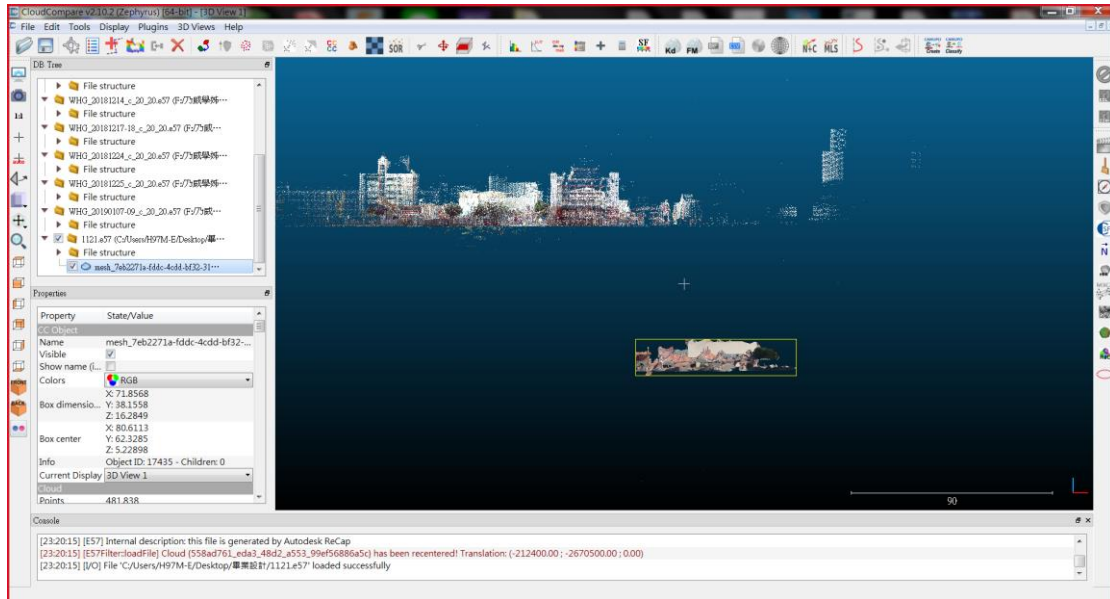


圖3-17- 7 兩個點雲模型

放入後轉至可看到所有模型的畫面，並且使用 Edit>Translate/Rotate 功能移動兩模型。

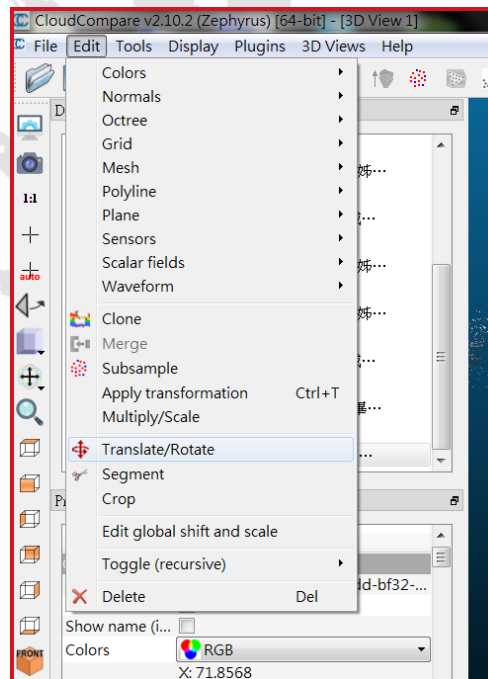


圖3-17- 8 移動及旋轉選項

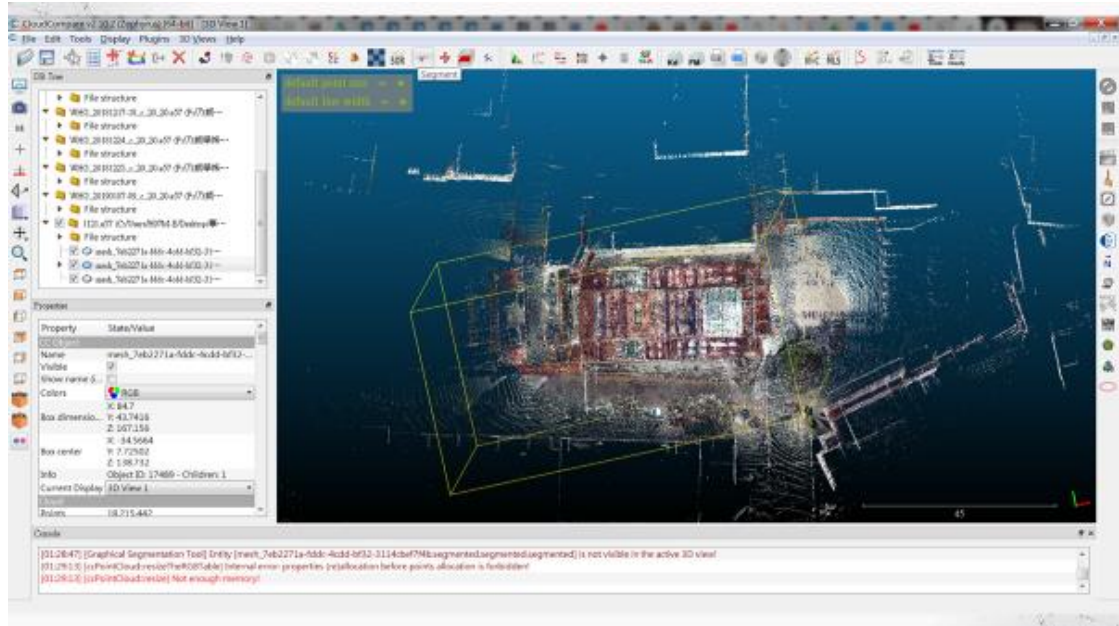


圖3-17- 9 裁減點雲

點選 Segment 並對地面光達掃描儀的點雲資料範圍進行裁減。

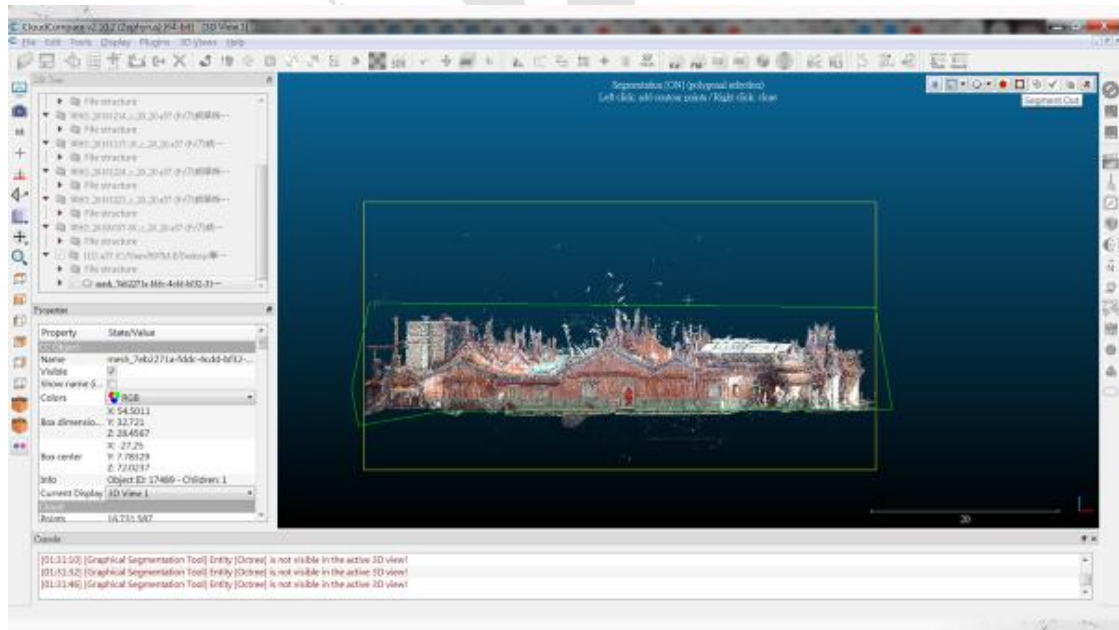


圖3-17- 10 裁減點雲2

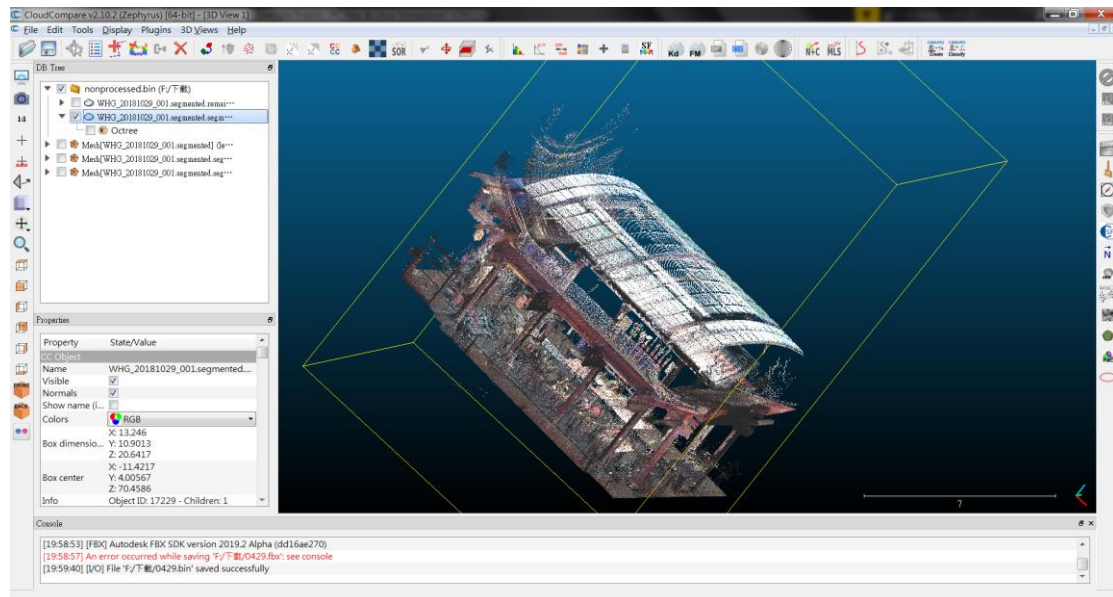


圖3-17- 11 裁剪後之地面光達掃描儀點雲模型

裁剪出室內空間並疊至無人飛行器之點雲模型中。

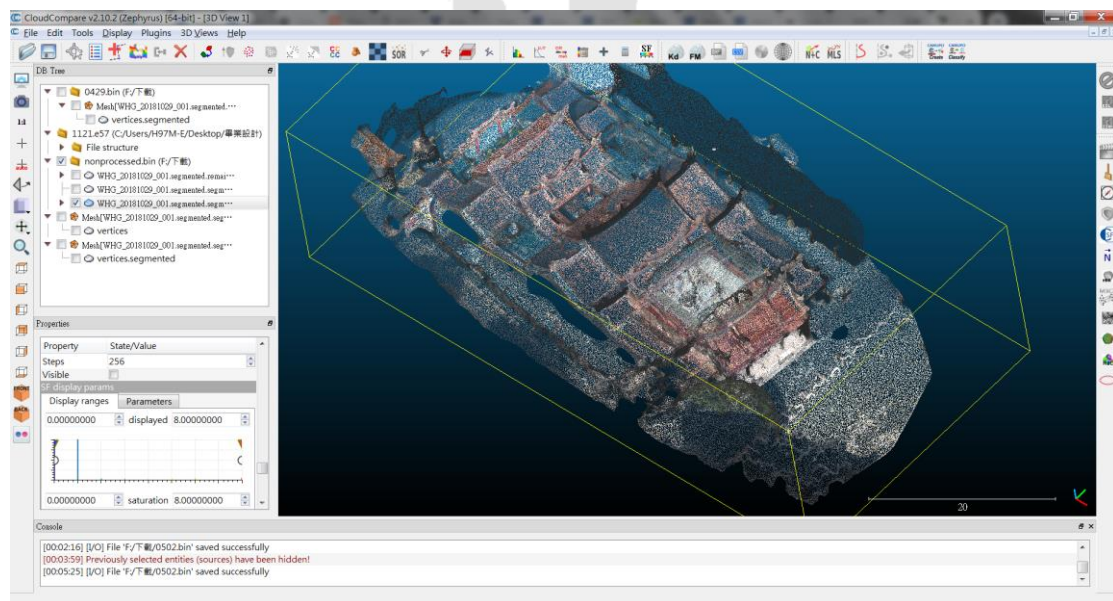


圖3-17- 12 兩個點雲模型交疊

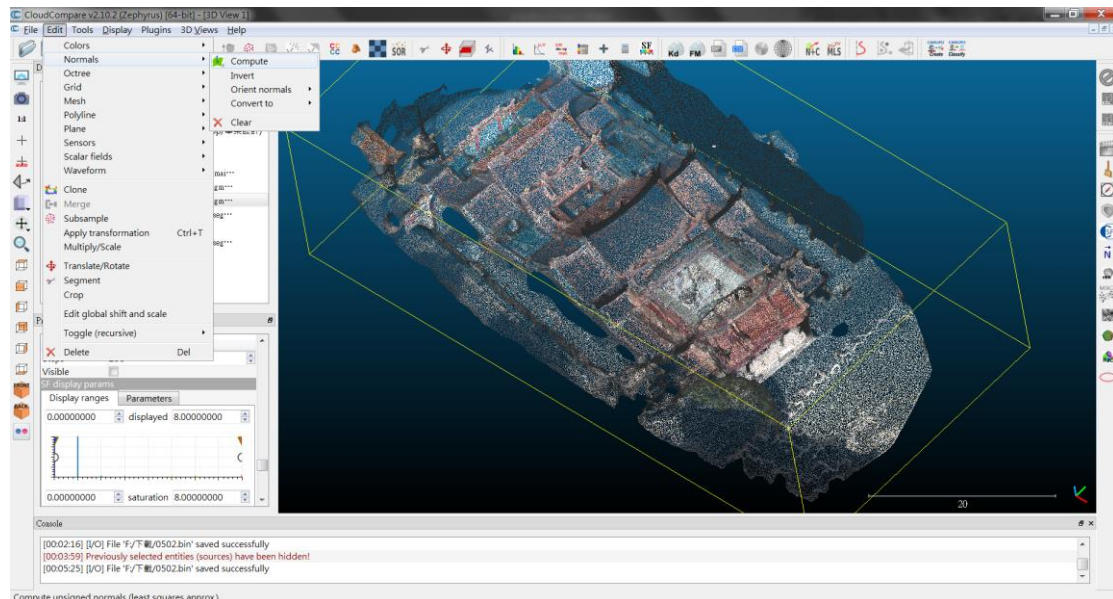


圖3-17- 13 進行 Normal/Compute 運算

進行 Normal/Compute 運算，Local surface model 選 Quadric，使用系統估算的數值不更改。

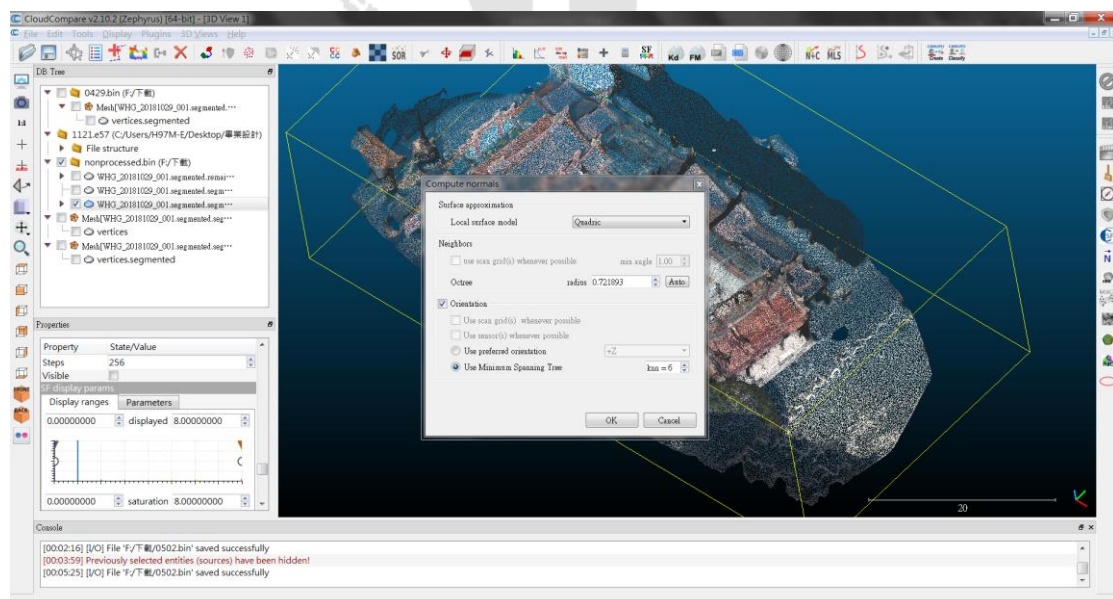


圖3-17- 14 進行 Normal/Compute 運算

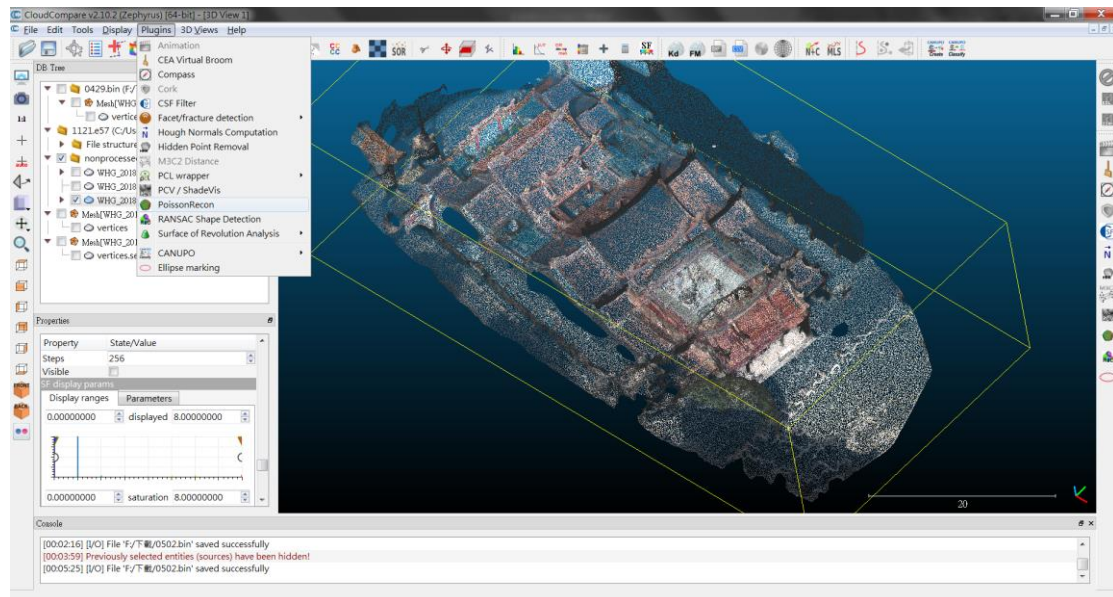


圖3-17- 15 Poisson Recon 運算

接下來進行 Poisson Surface Reconstruction 的網面計算。勾選 Output density as SF，使之能夠運算非封閉點雲資訊。Octree depth 數值依電腦效能評估，盡量選擇10以上之數字。Advance 選項則已默認預設為主。

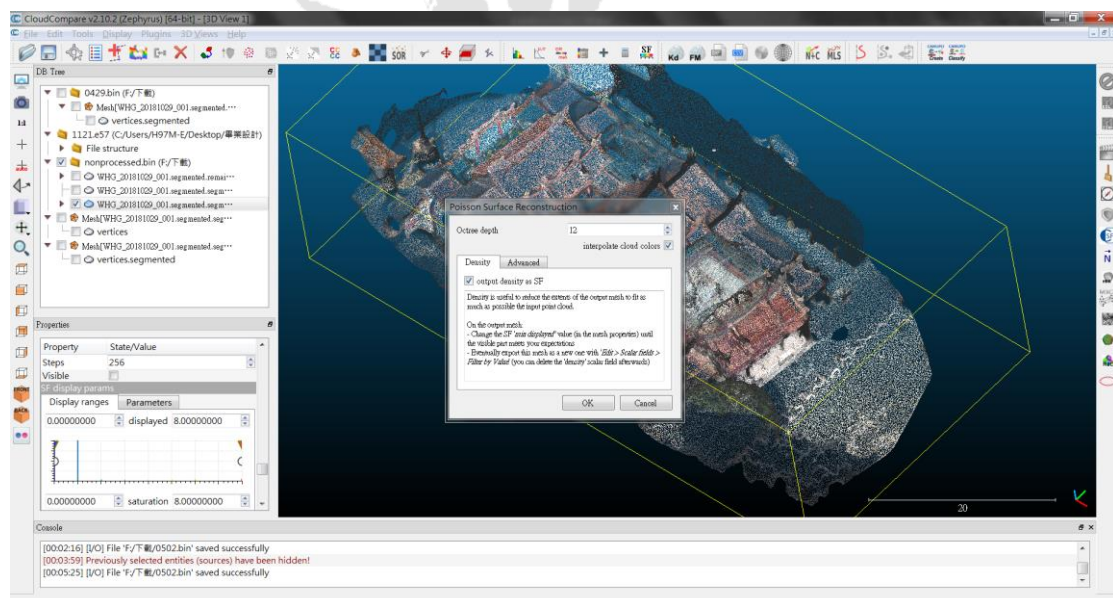


圖3-17- 16 設定視窗

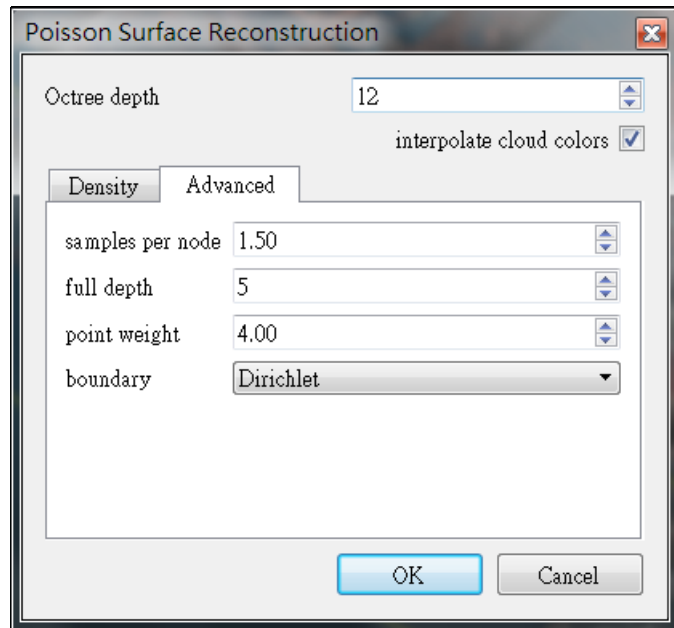


圖3-17- 17 進階設定視窗

運算完成後瀏覽 Properties 視窗，並在 SF display params 移動左右兩邊的圓圈拉桿，以調整網格面的計算範圍。

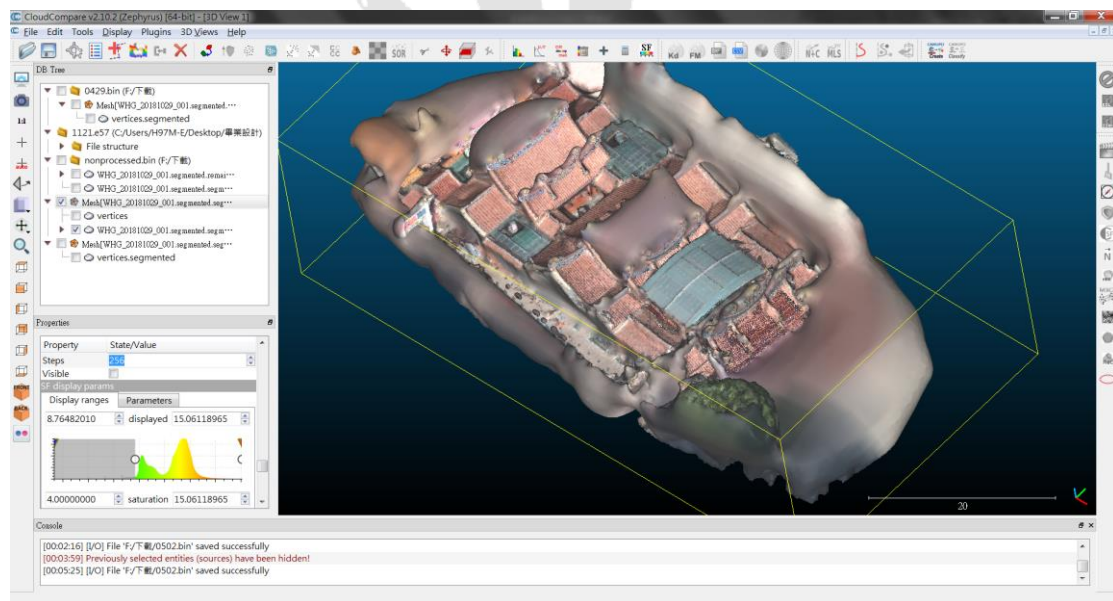


圖3-17- 18 SF display params 更改

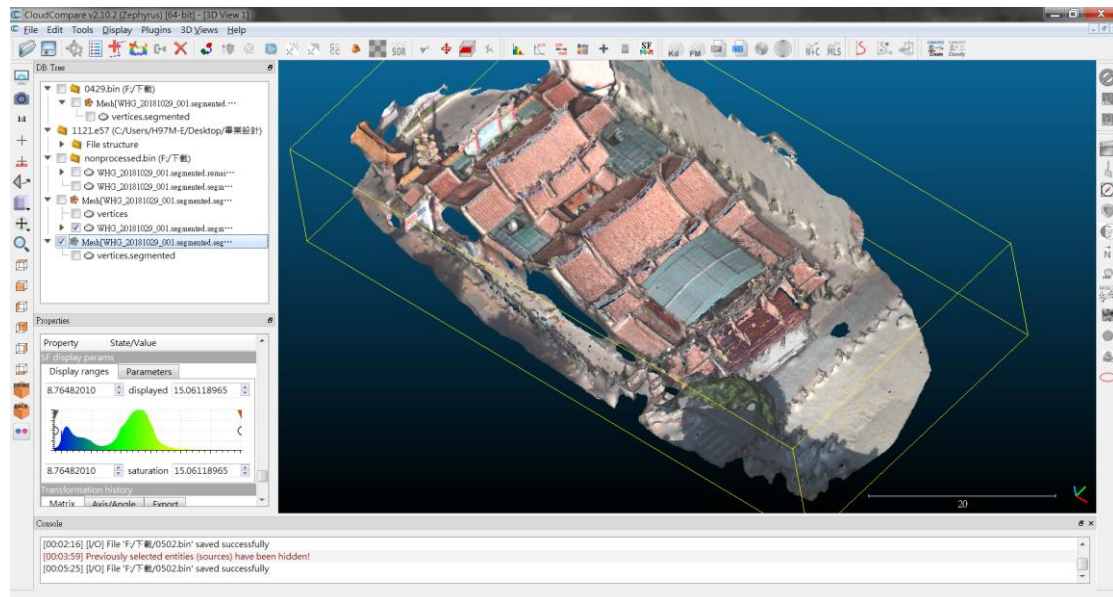


圖3-17- 19 調整後的模型樣貌

決定好範圍後在 Edit>Scalar Fields> Filter by Value，此時視窗內的數值已是手動調整後的數值。直接點選輸出按鈕即可。

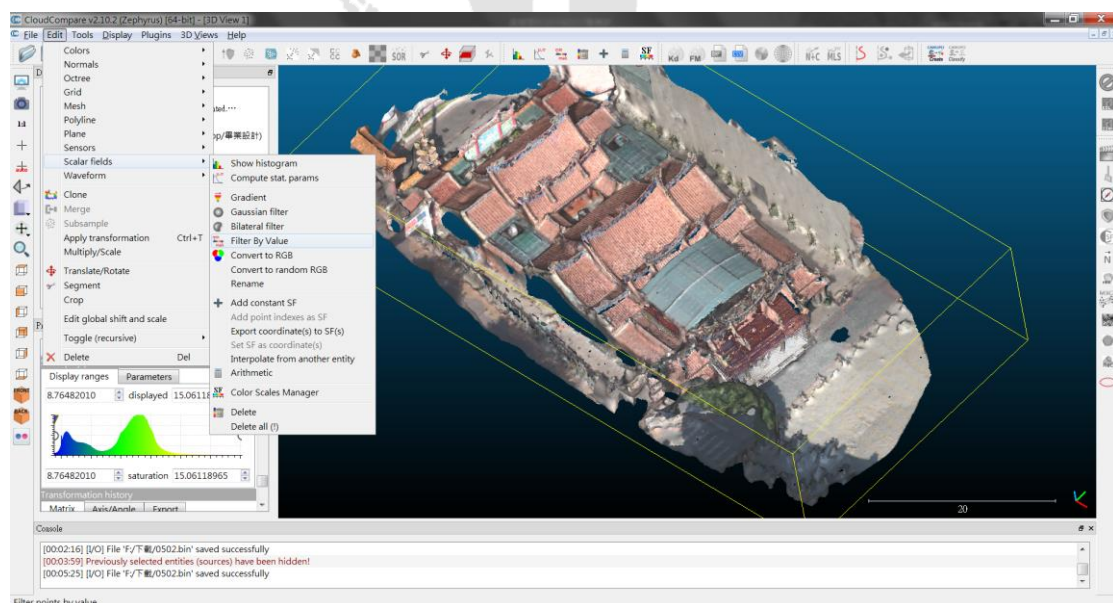


圖3-17- 20 輸出調整後的模型

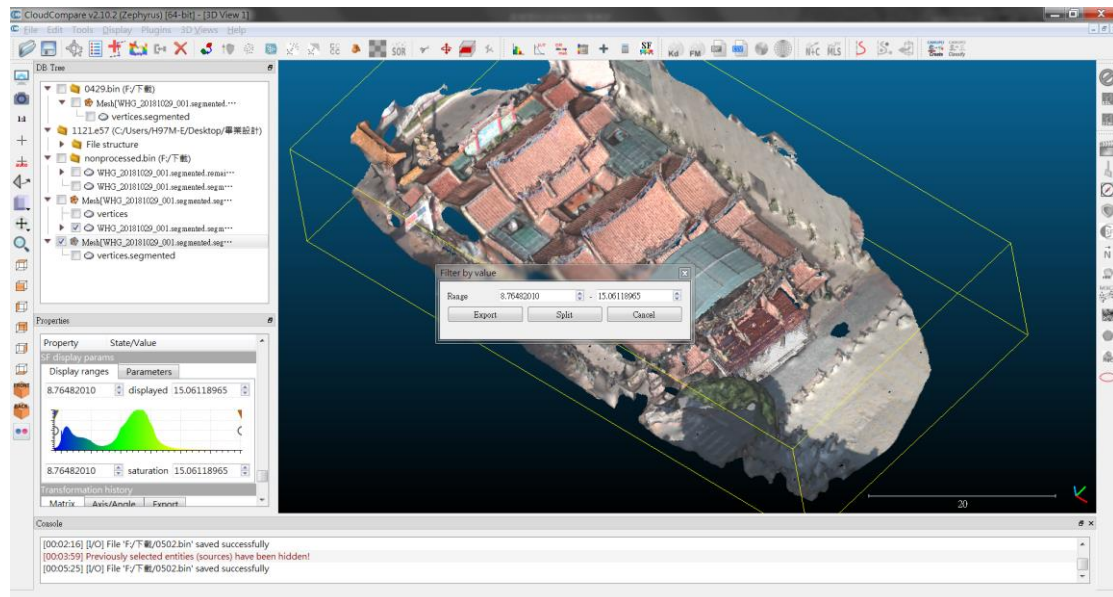


圖3-17- 21 輸出調整後的模型2

最後輸出成 Unity 可讀取之 fbx 檔案。

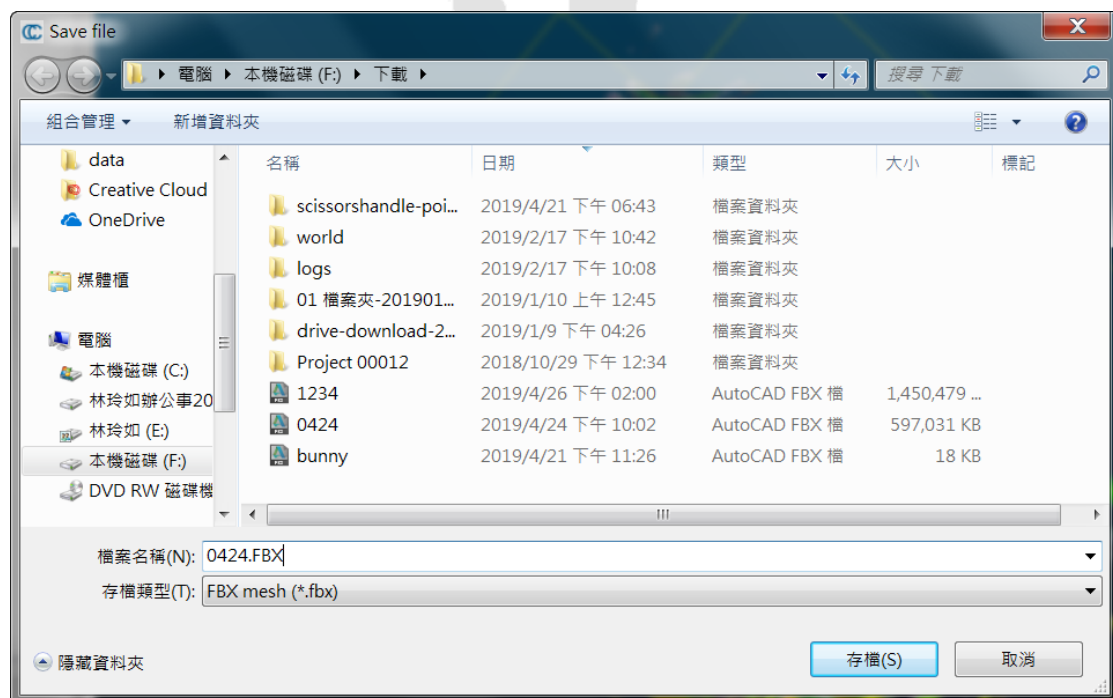


圖3-17- 22 輸出 fbx 檔案

3-18 Unity 遊戲引擎

本研究除為探討結合地面光達掃描與無人飛行器空載傾斜攝影掃描建模的可行性，也希望能夠進一步使完成的數位資訊模型結合並提升建物資訊價值，而 Unity 不僅作為遊戲界許多的3D 遊戲引擎，還被廣泛用於建築視覺化、實時三維動畫等類型互動內容的綜合型創作工具。數位化的檔案輔以 Unity 編寫之互動軟體，最終可呈現至 VR/AR/MR，能夠想像未來將可輕易地進行可視化的建物管理。

目前旁聽為期1學期的逢甲碩班創意設計繪圖課程，課程教學將從 Unity 基礎操作、基本物理引擎操作至設置場景、導航系統及 AR 擴增時境操作，頗有機會與建築掃描點雲模型結合。

前往 Unity 官方網頁下載個人無營利的免費版本並安裝軟體。

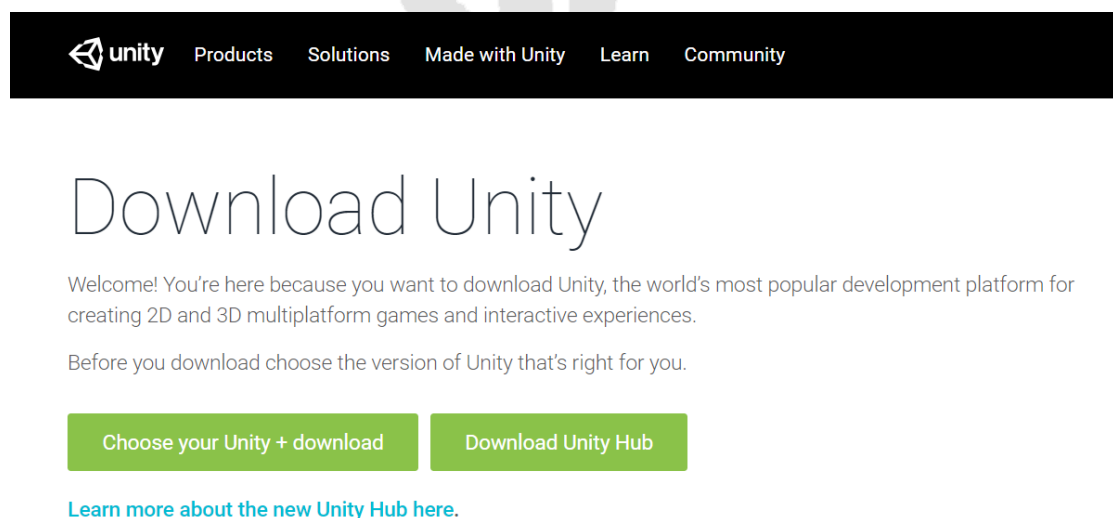


圖3-18- 1 Unity 官方下載網頁

開啟專案後先於 Assets 資料夾裡面創建預制物、場景，以及腳本資料夾，方便未來作資訊及物件管理。

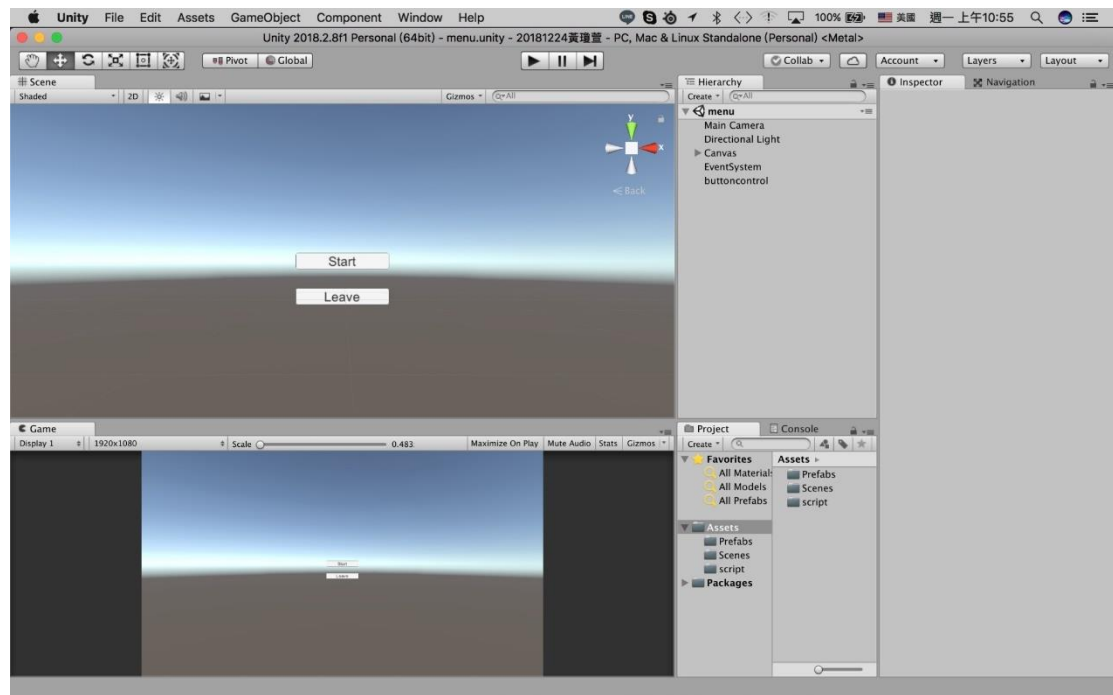


圖3-18- 2 建置資料夾與按鈕

在場景資料夾裡面創建目錄、場景1，以及場景2，作為初始介面、導覽介面，以及 AR 擴增實境界面。

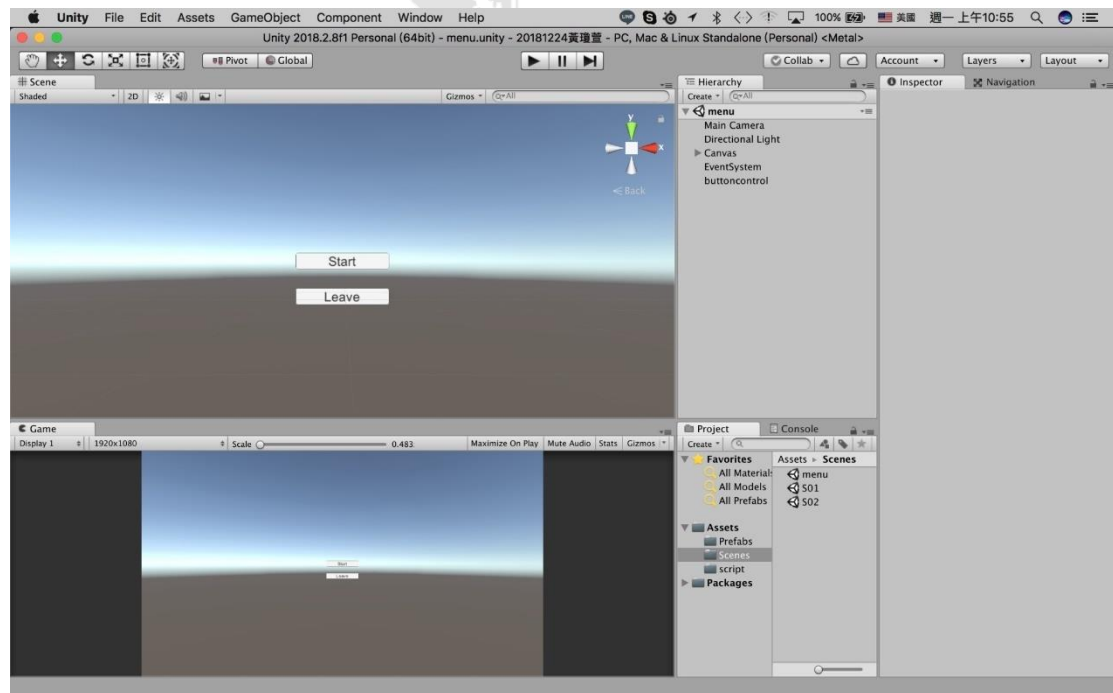


圖3-18- 3 建置三種場景

在腳本中創建按鈕腳本，作為目錄場景的按鈕觸發機制。

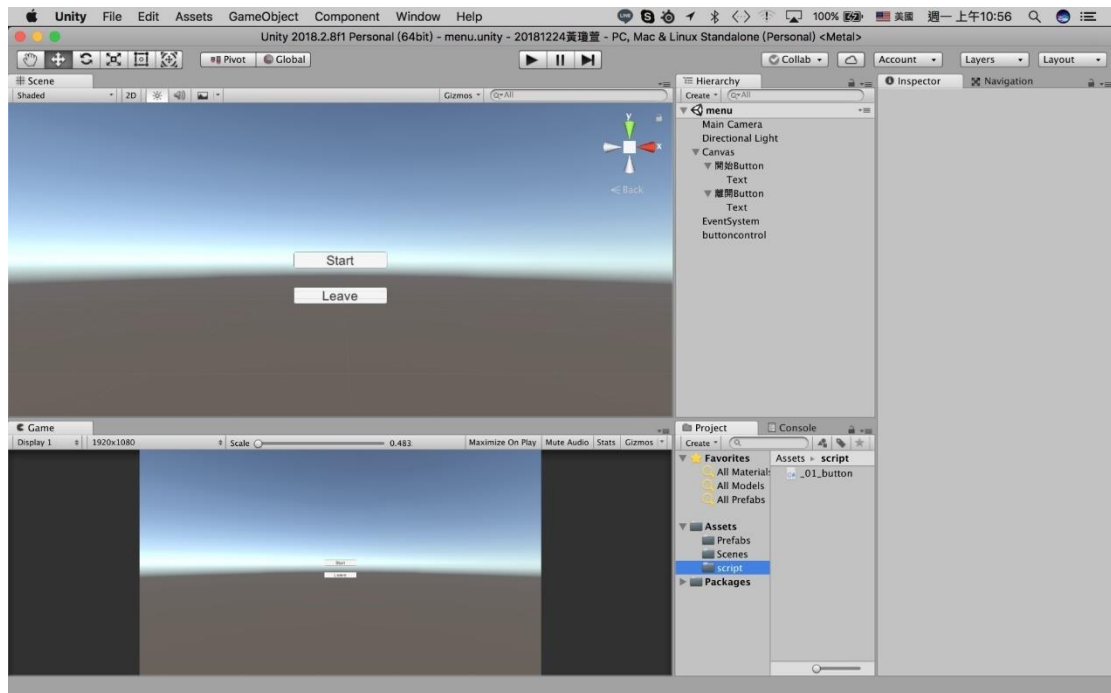


圖3-18-4 建置按鈕腳本

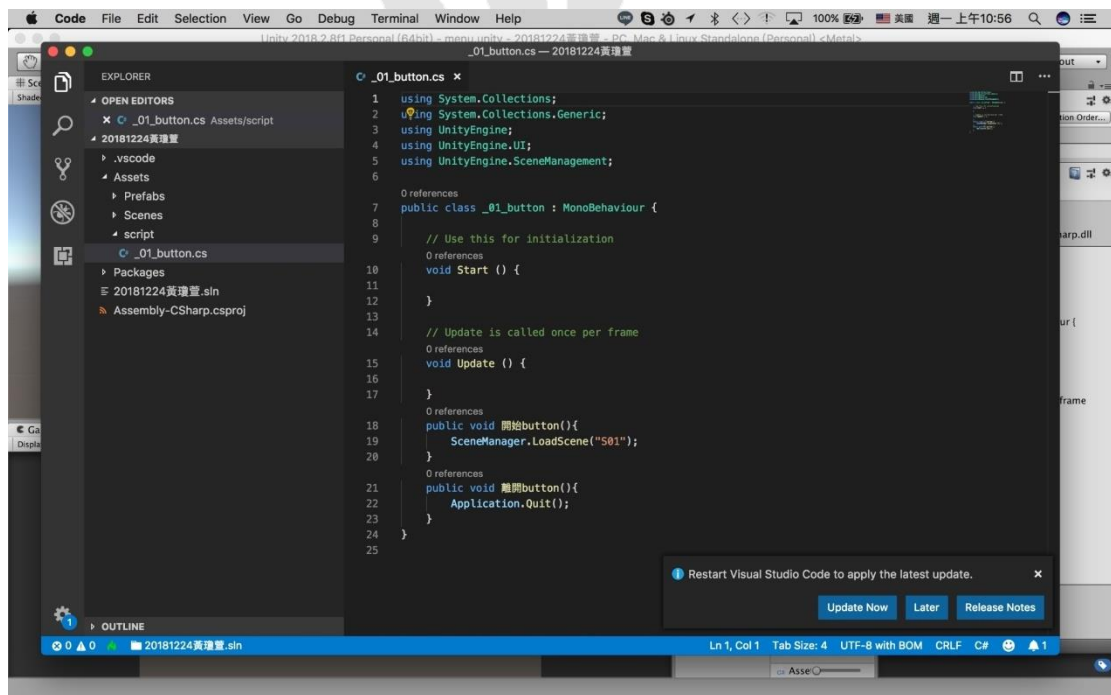


圖3-18-5 按鈕腳本內容

插入空物件以連結腳本資訊，再把空物件丟入按鈕腳本插槽。

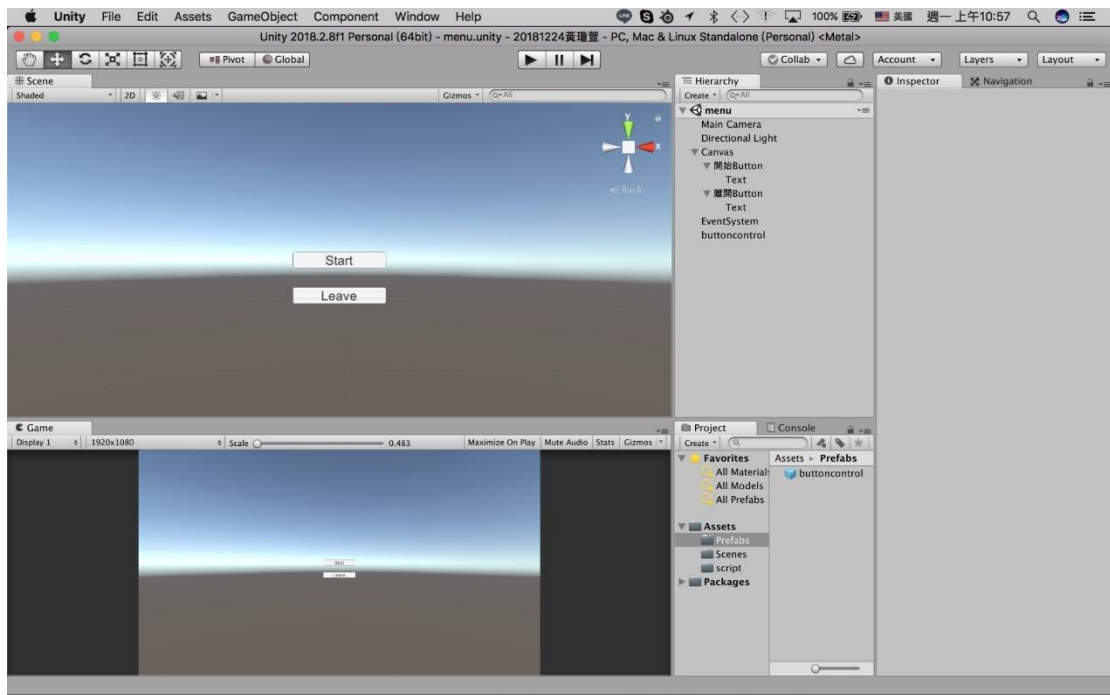


圖3-18-6 腳本套入程式

匯入 ReCap Pro 所匯出的 fbx.檔案，並把材質檔案拉入模型。

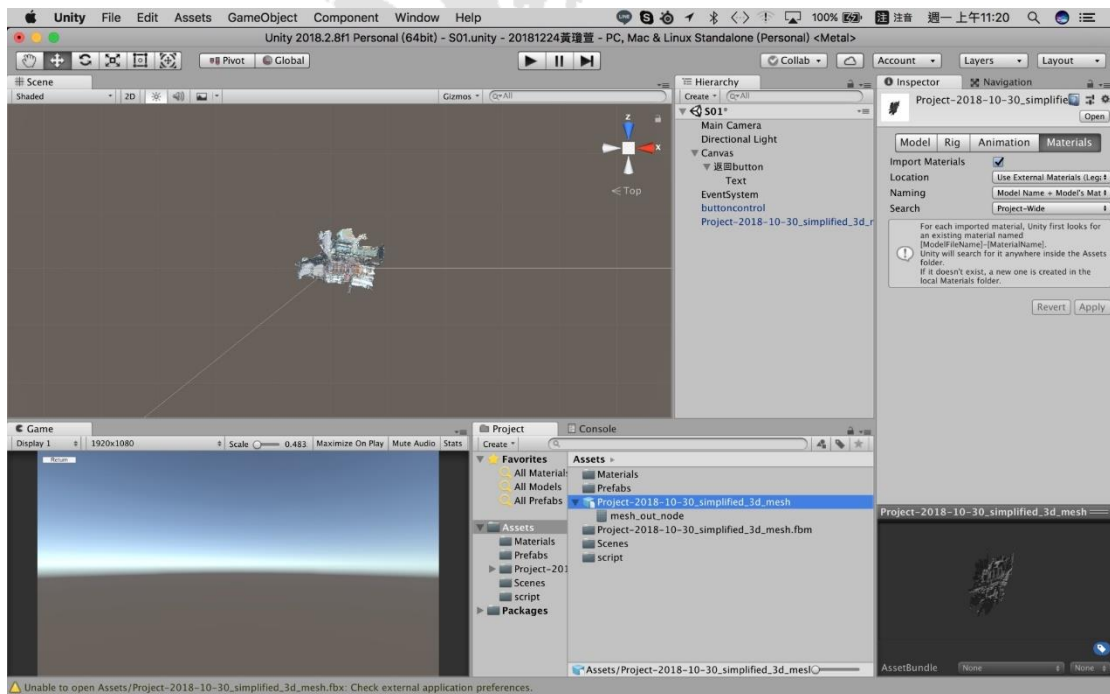


圖3-18-7 模型匯入程式

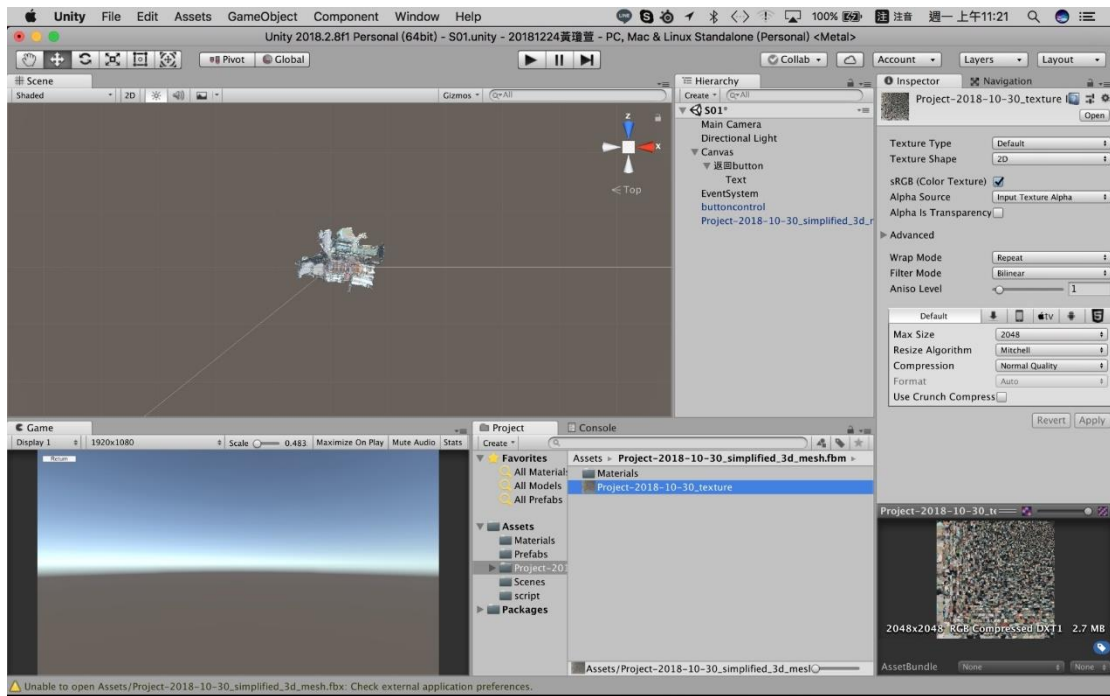


圖3-18-8 材質匯入模型

加入方塊作為隱形牆的物件，蓋住不被允許進入的量體或範圍限制，加入碰撞物理性質並隱藏模組。加入一個平面作為地板。

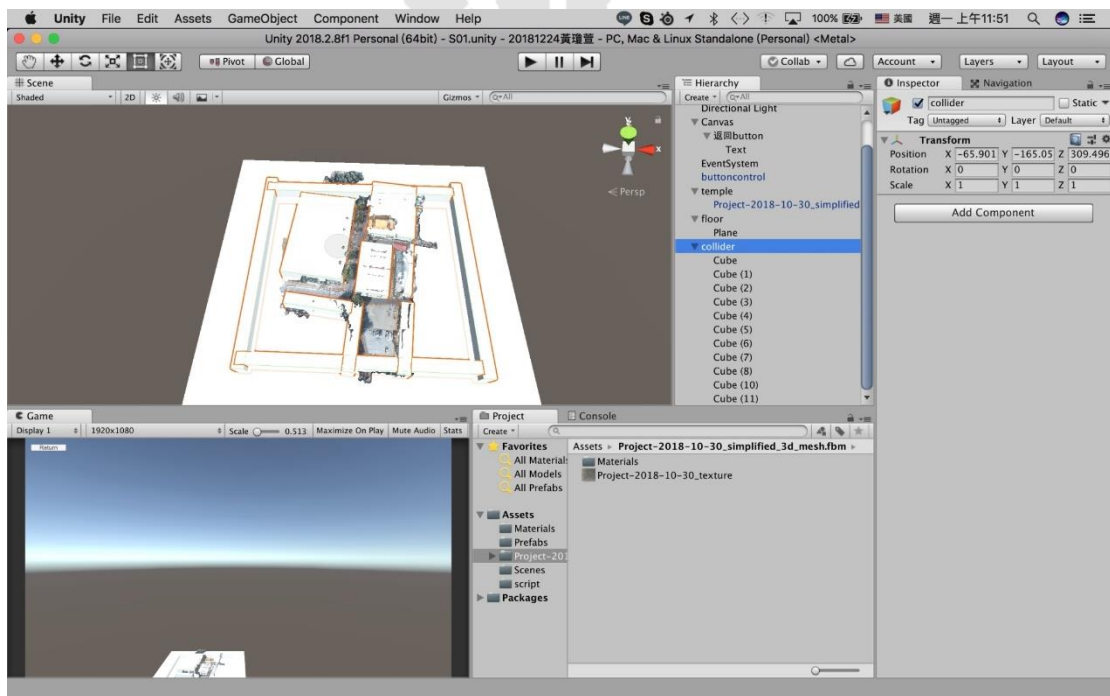


圖3-18-9 隱形牆製作

加入地形物件，並編輯地形與材質。

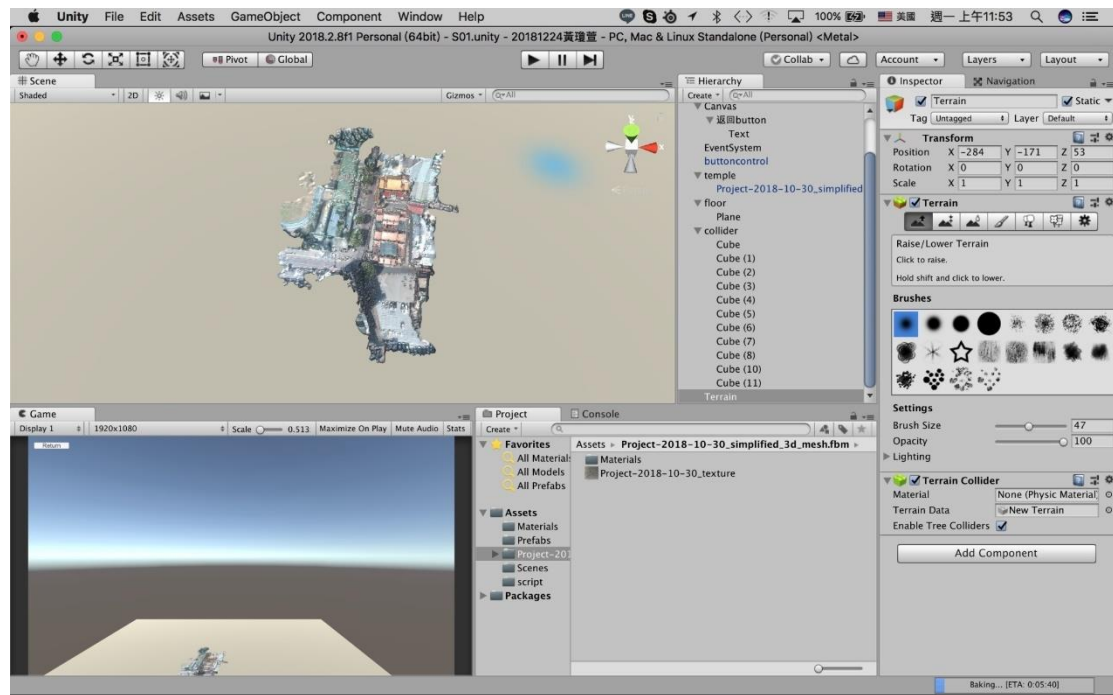


圖3-18- 10 地形編輯器

可在 Asset store 尋找免費材質資源下載並套入到專案中。

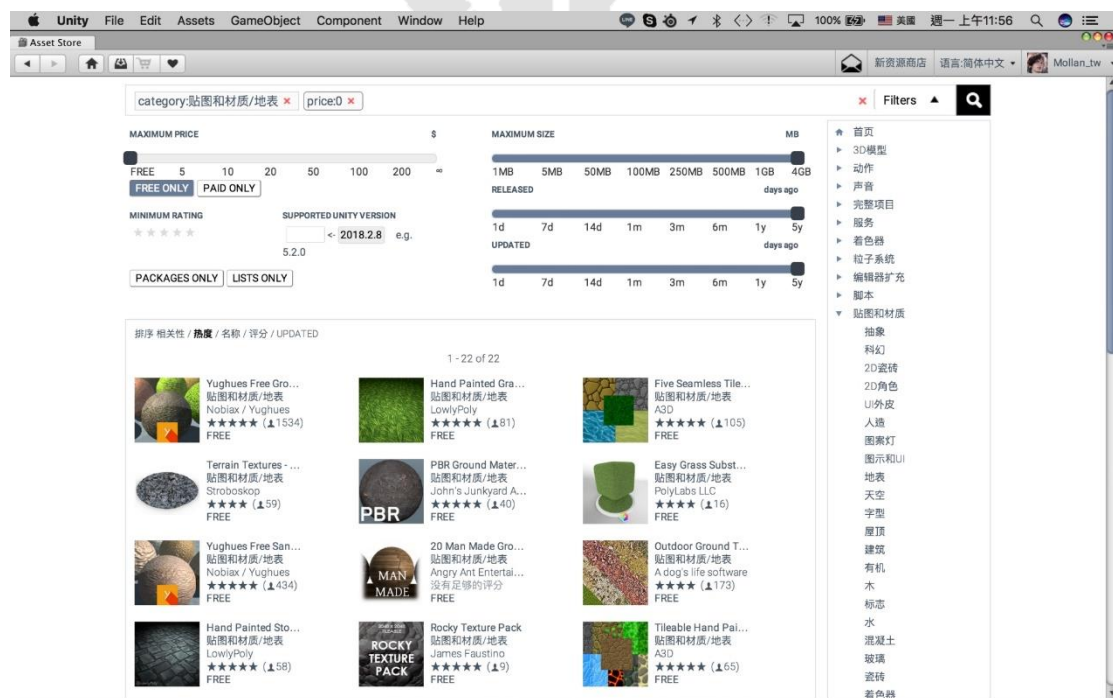


圖3-18- 11 Asset Store

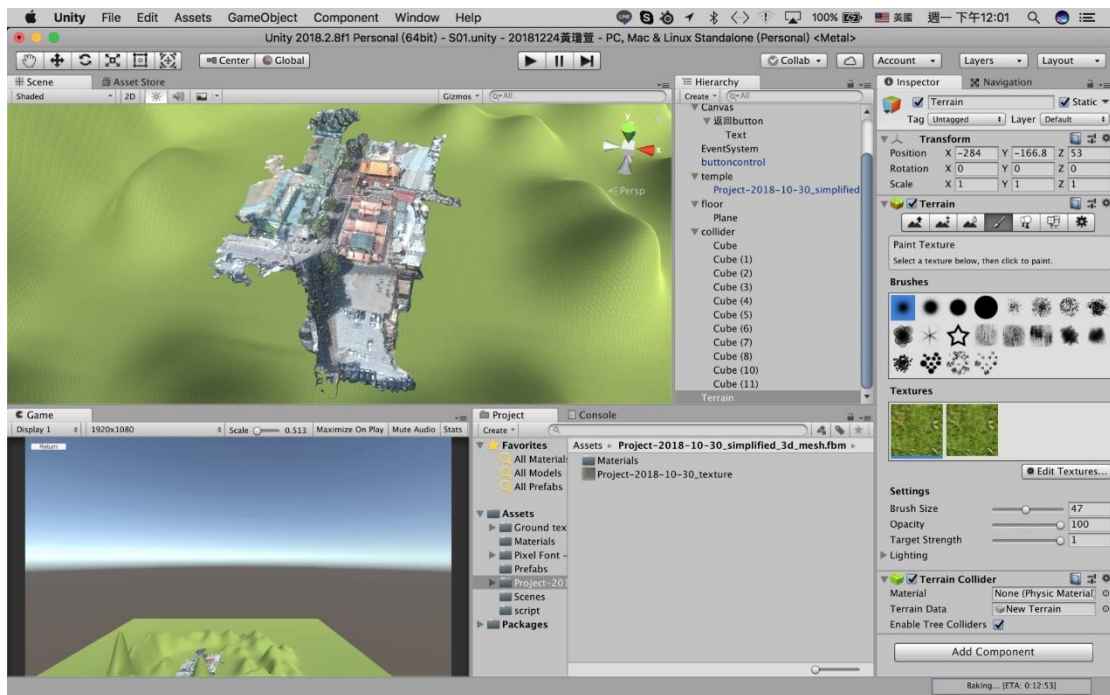


圖3-18- 12 匯入下載材質至地形
從 Asset store 下載免費人形角色，並套入動作。

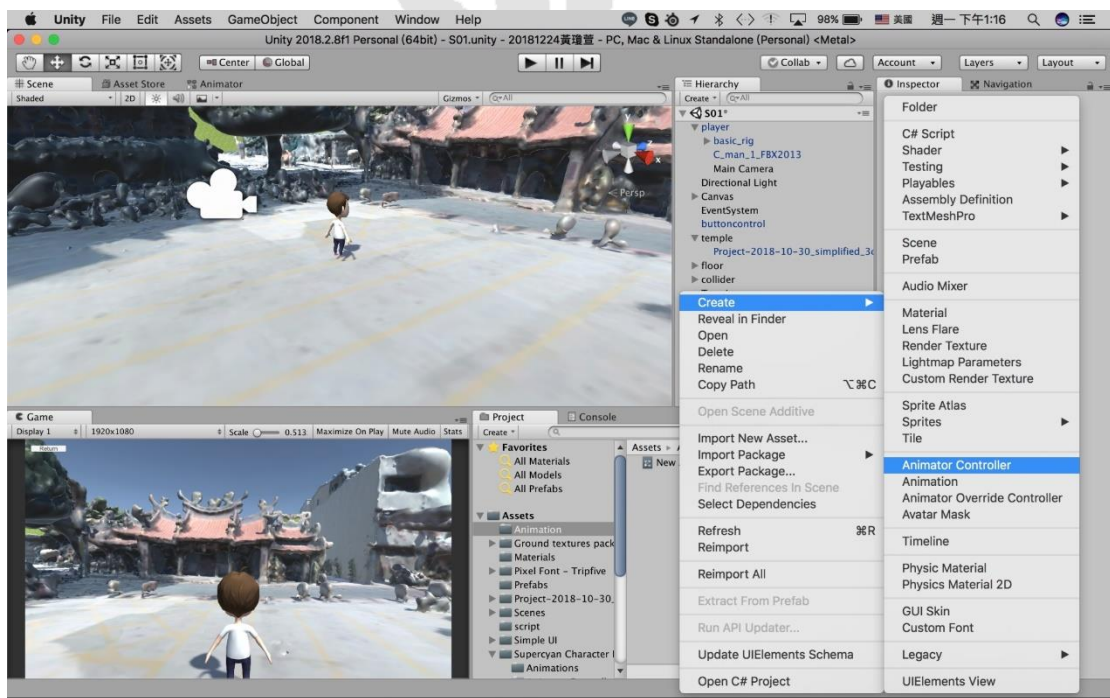


圖3-18- 13 匯入人形角色

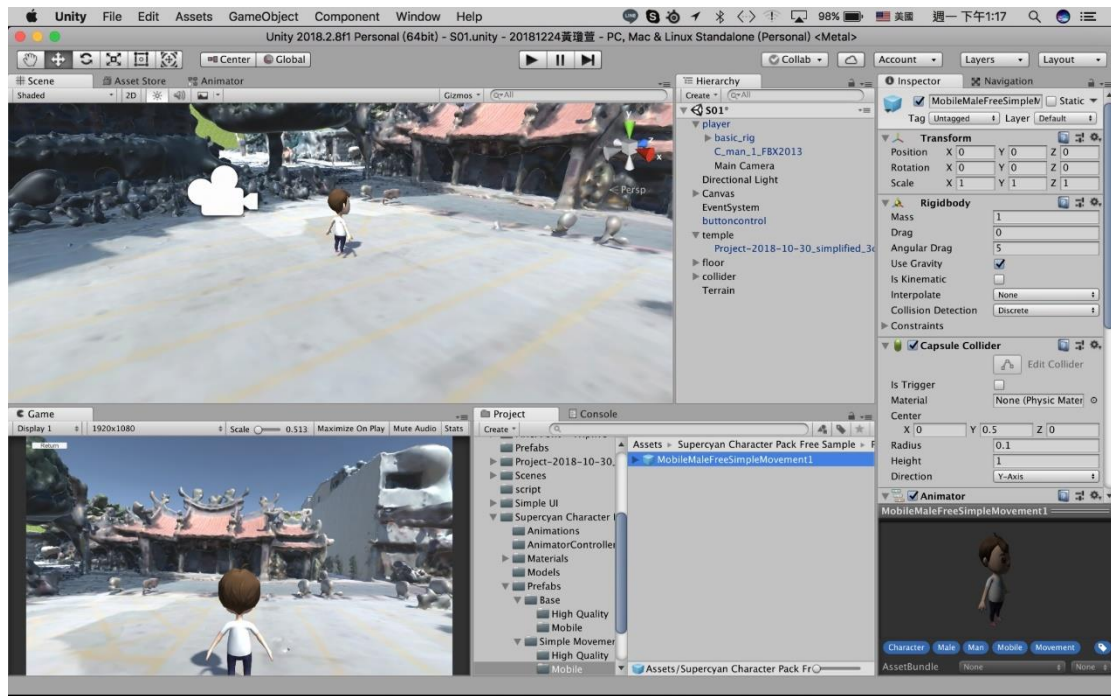


圖3-18- 14 套用走路動作至人行角色

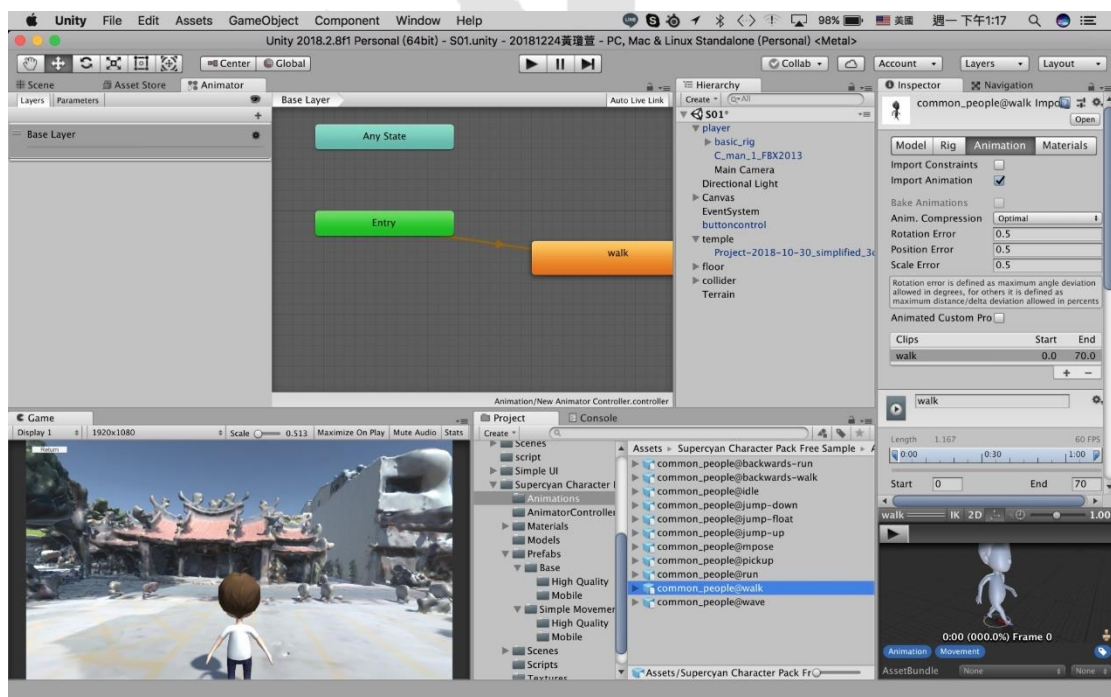


圖3-18- 15 選擇想使用的走路動作

加入膠囊狀碰撞元件，並且鎖定 X 與 Z 軸的旋轉性質，避免反常的物理行為。

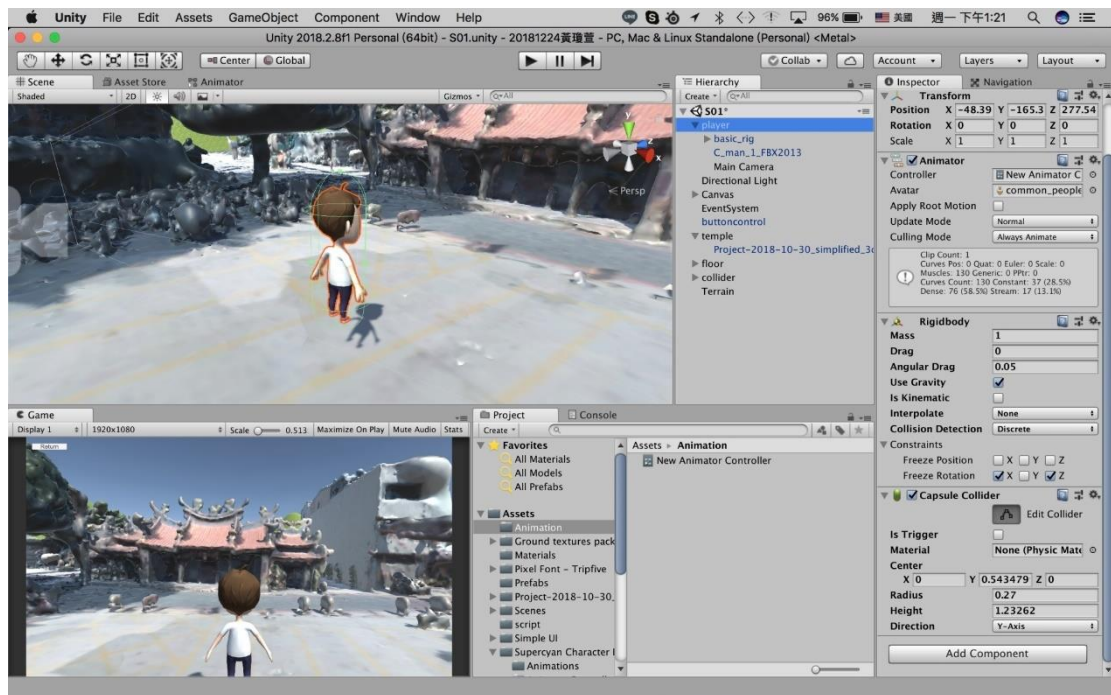


圖3-18- 16 建立碰撞物理系統

建立人形走路腳本，套用在模組上。

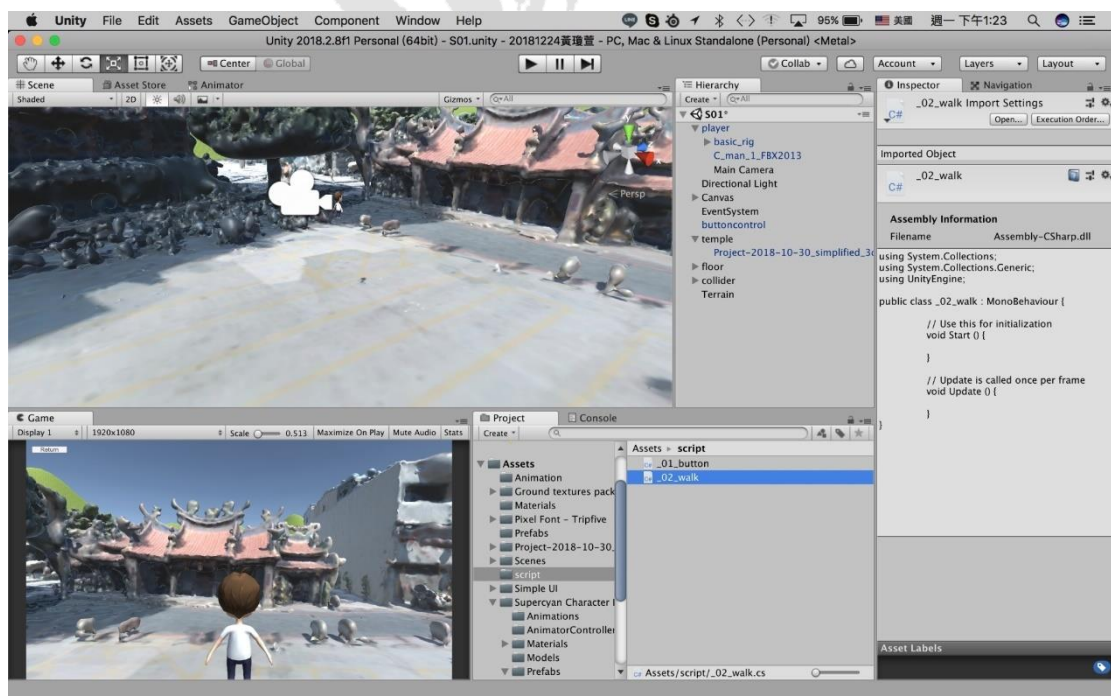


圖3-18- 17 套用走路腳本

寫出 WASD 走路機制。

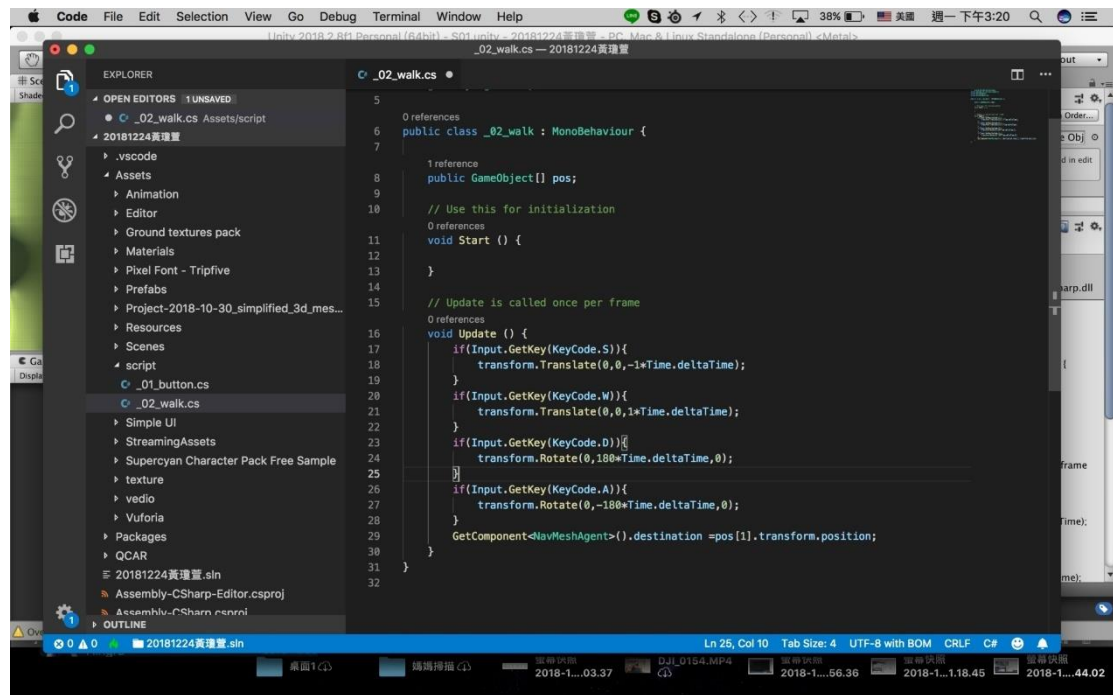


圖3-18- 18 編寫走路腳本

對牆壁建立並運算導航系統。

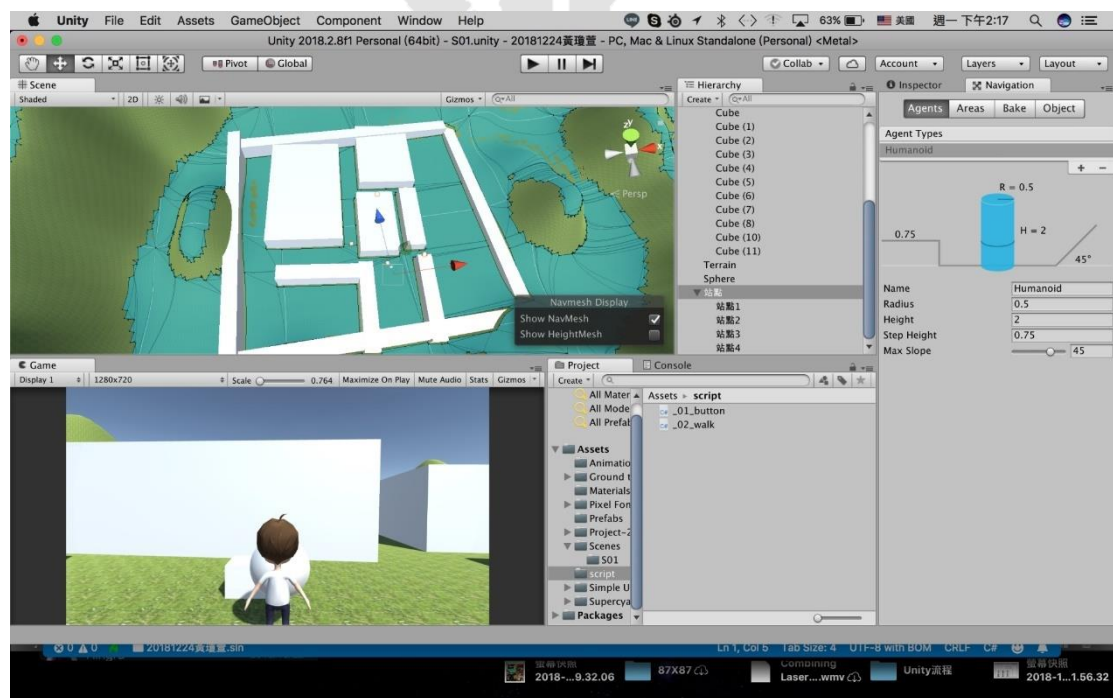


圖3-18- 19 建立導航系統

建立電視牆，匯入萬和宮介紹影片至 Unity 並放上電視牆。因介紹影片需放入材質物件上，可為材質物件新增資料夾以便整理。

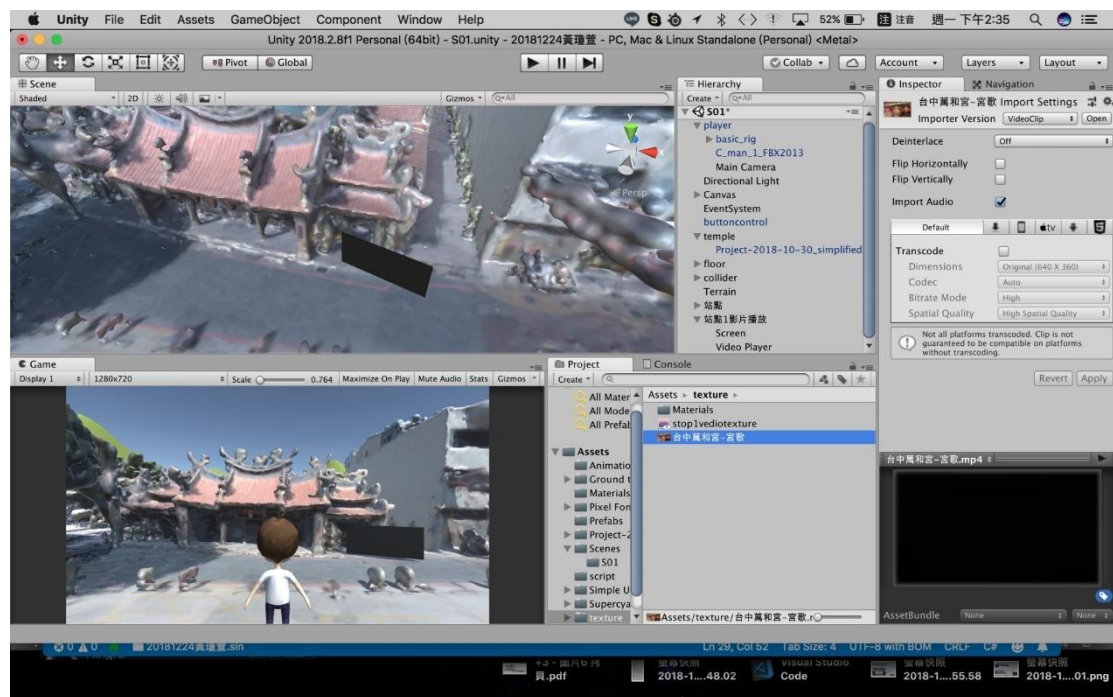


圖3-18- 20 建立電視牆

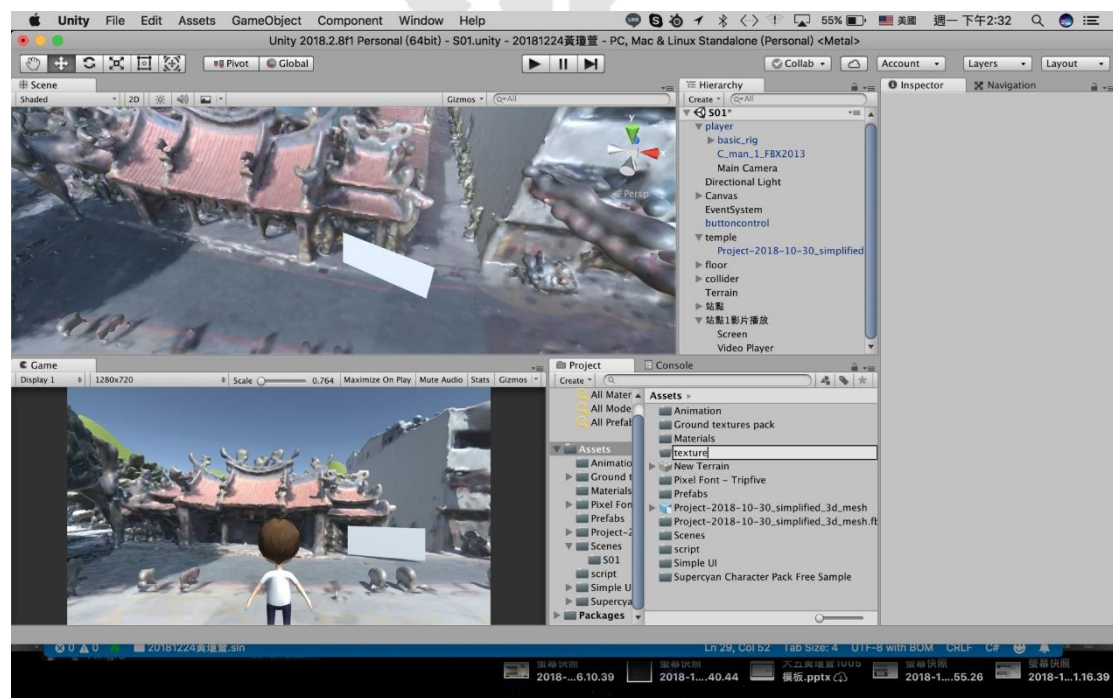


圖3-18- 21 建立電視牆材質

生產物理光線，若沒設定成功則在程式運行時會相當昏暗。

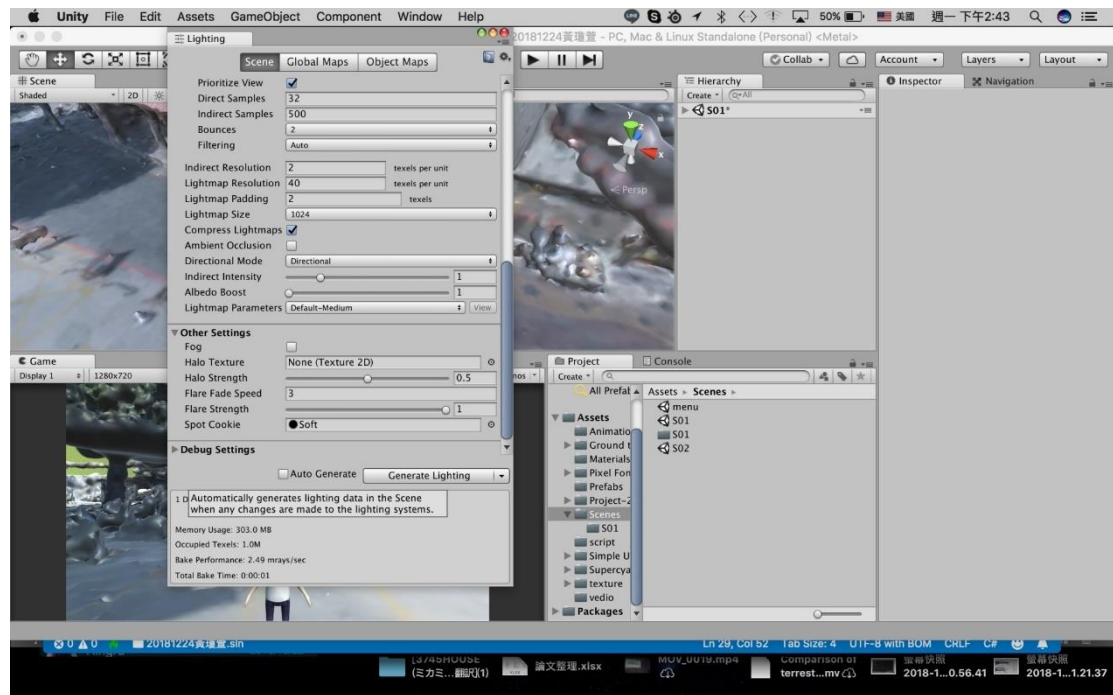


圖3-18- 22 燈光設置

下載 Vuforia AR 外掛程式，打開玩家設定並開啟 AR 執行選項，並在 AR 場景中設置 AR 相機，刪除原有預設相機。

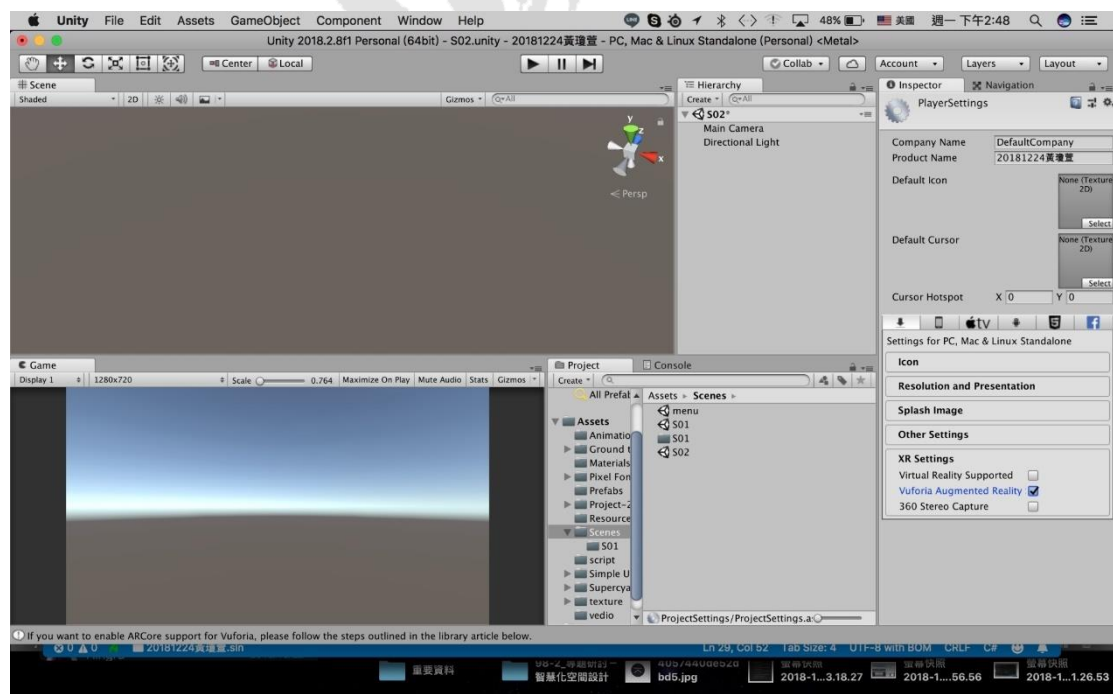


圖3-18- 23 開啟 Vuforia 的 AR 掛件

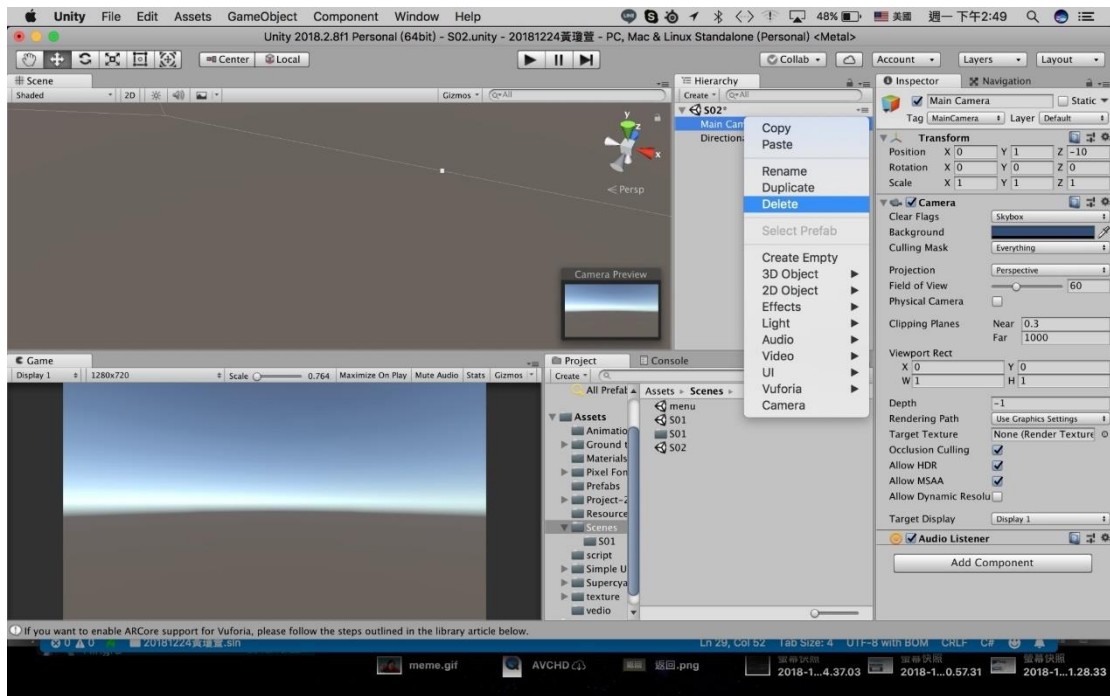


圖3-18-24 刪除既有相機

建立 AR 相機時需選擇匯入 Vuforia 掛件。

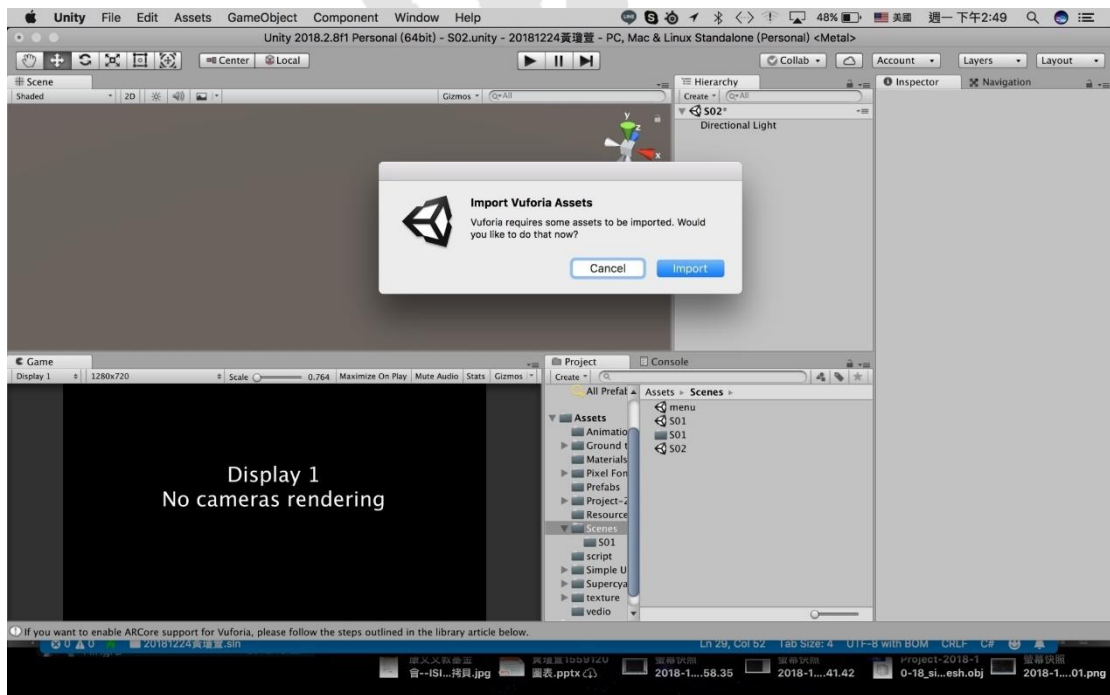


圖3-18-25 新增並確定匯入 AR 相機

新增 AR image 做為未來掃描圖片對象，即作為相機判斷的物件。並在 AR image 層級下放入在掃描判斷成功後想要顯現成功的物件。

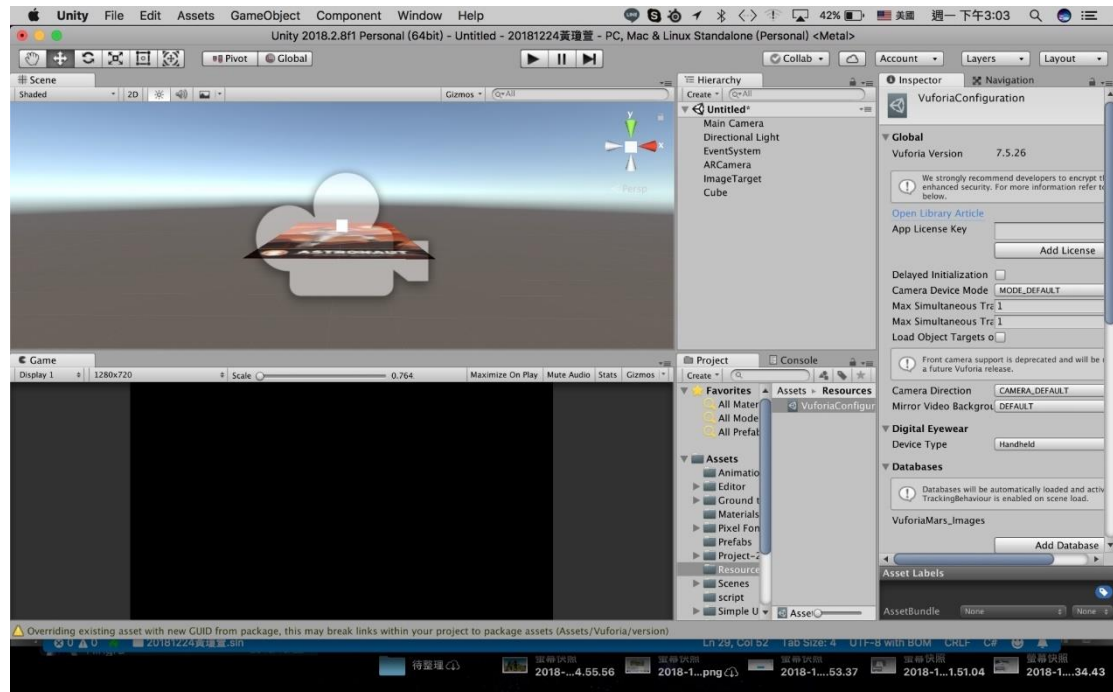


圖3-18- 26 Vuforia 金鑰視窗

若要使用 Vuforia 功能，須於官方網站註冊並開啟證照管理員，上傳想要掃描的圖片並建立群組。複製群組金鑰貼入 Unity。

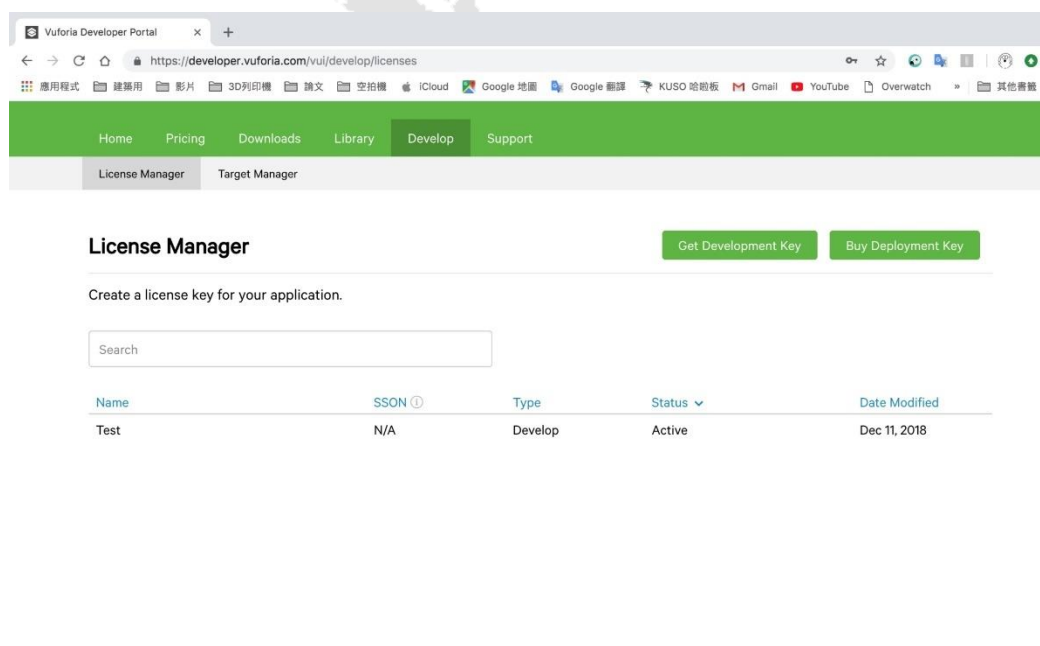


圖3-18- 27 Vuforia 官方網站

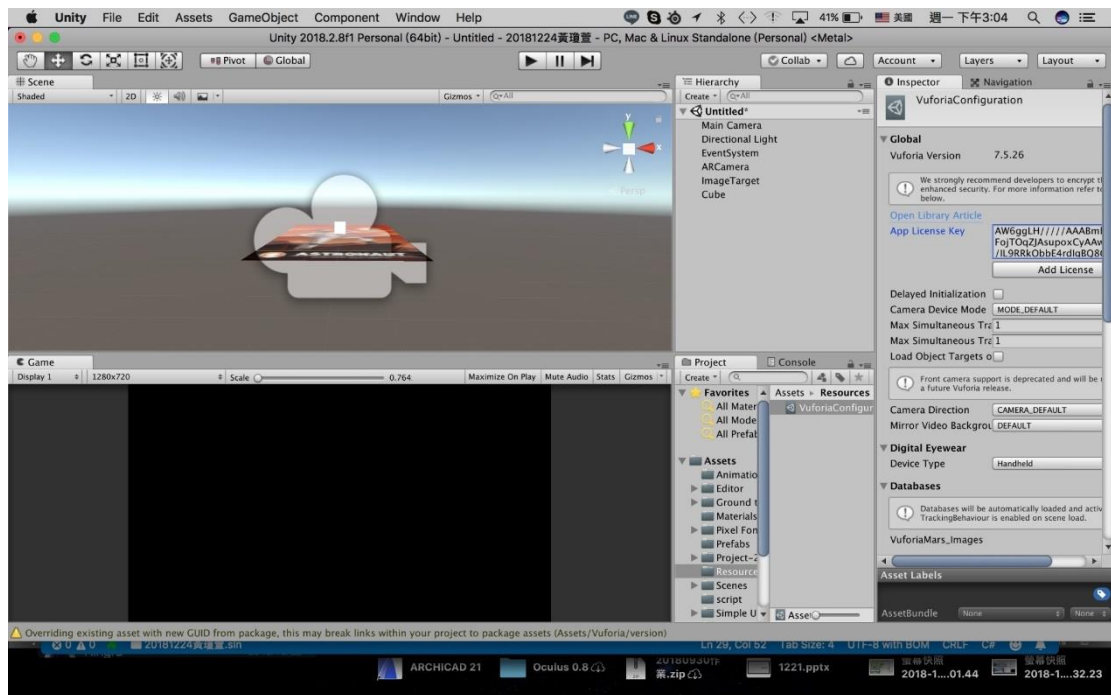


圖3-18- 28 輸入金鑰

在目標管理員中，上傳所需的圖片，網站會自動偵測各個圖片的偵測強度，若為三顆星以下則不建議作為 AR 使用。

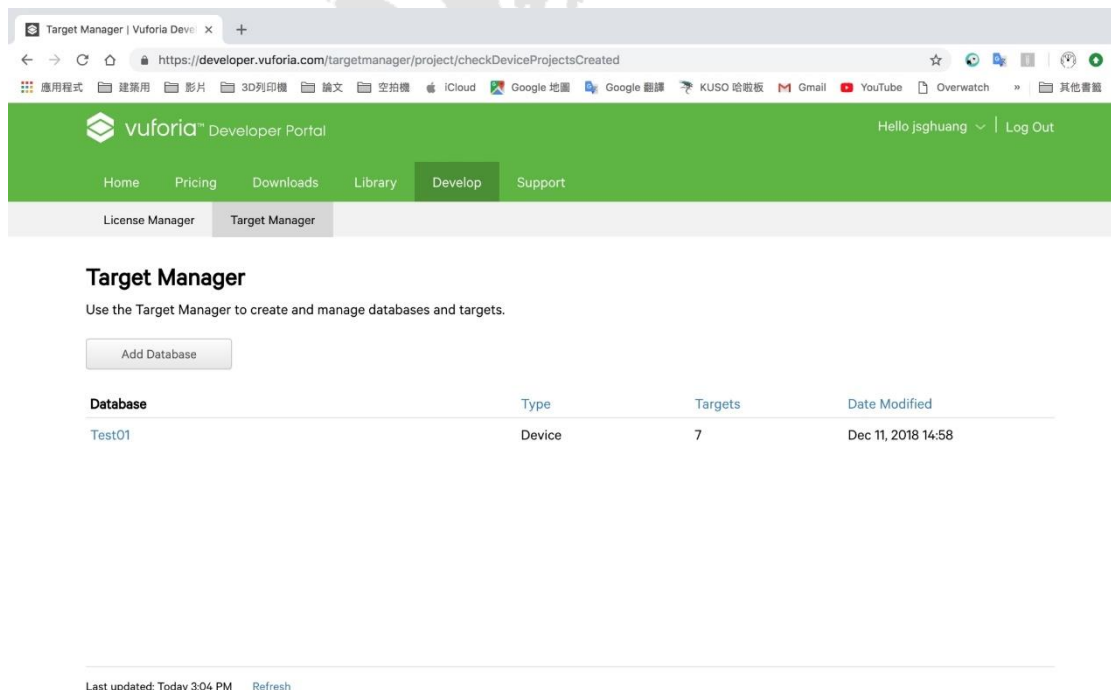


圖3-18- 29 管理群組

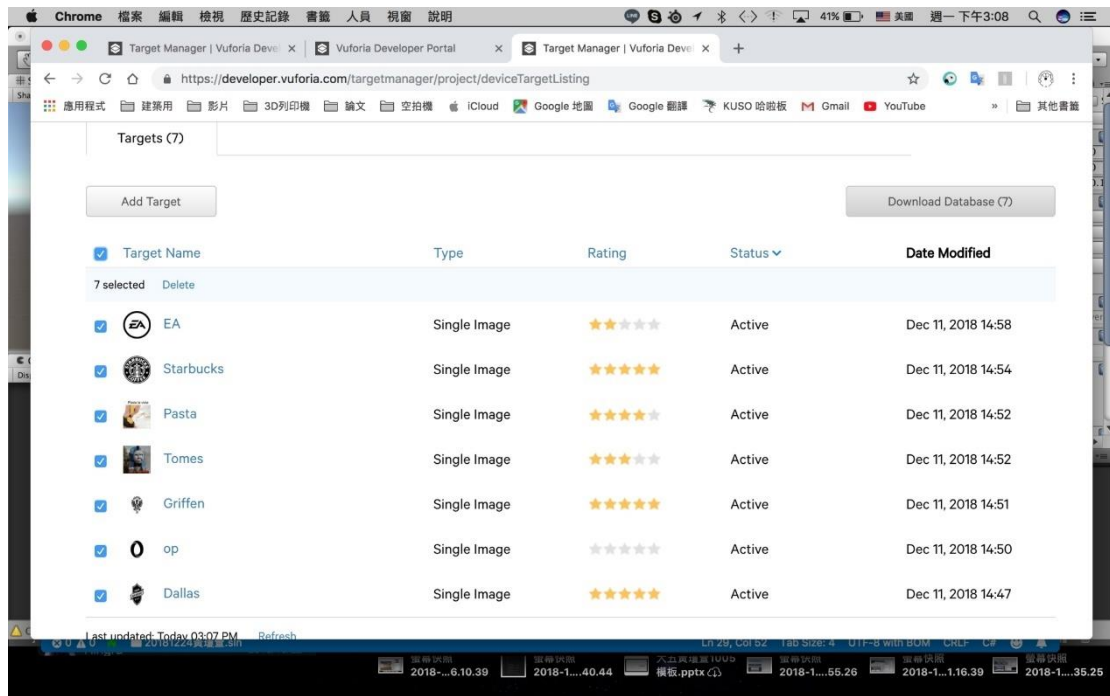


圖3-18- 30 上傳圖片

轉化過後的掃描圖片檔案，選擇使用適合 Unity 編輯的檔案下載。開啟檔案後直接匯入現行運作的 Unity 專案。

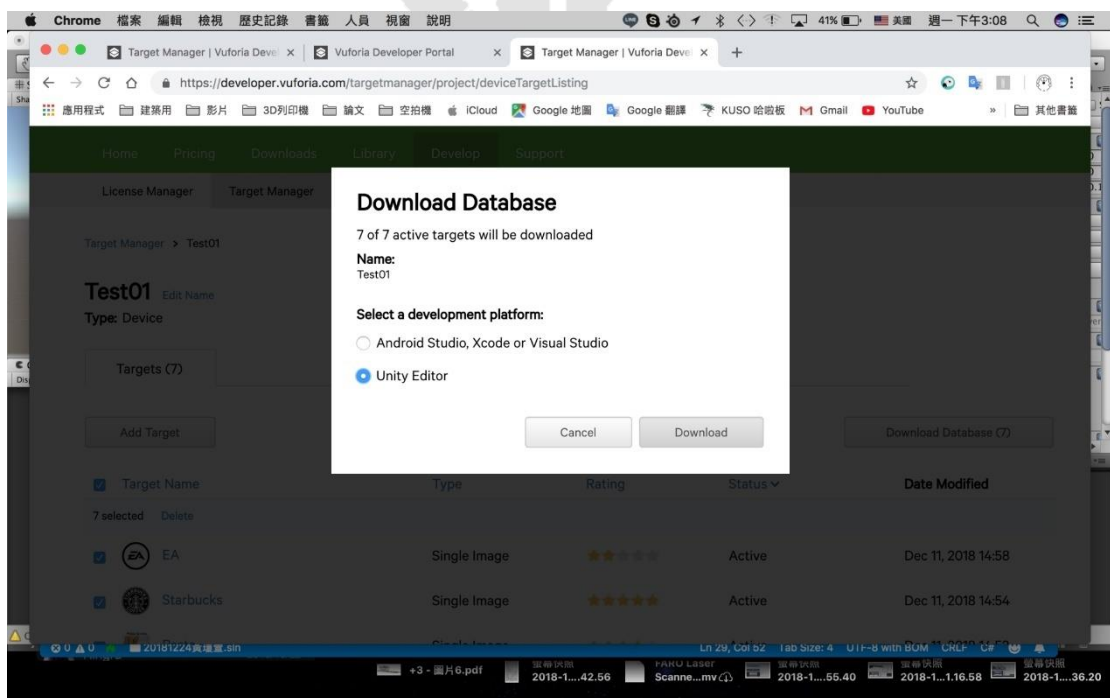


圖3-18- 31 下載圖片

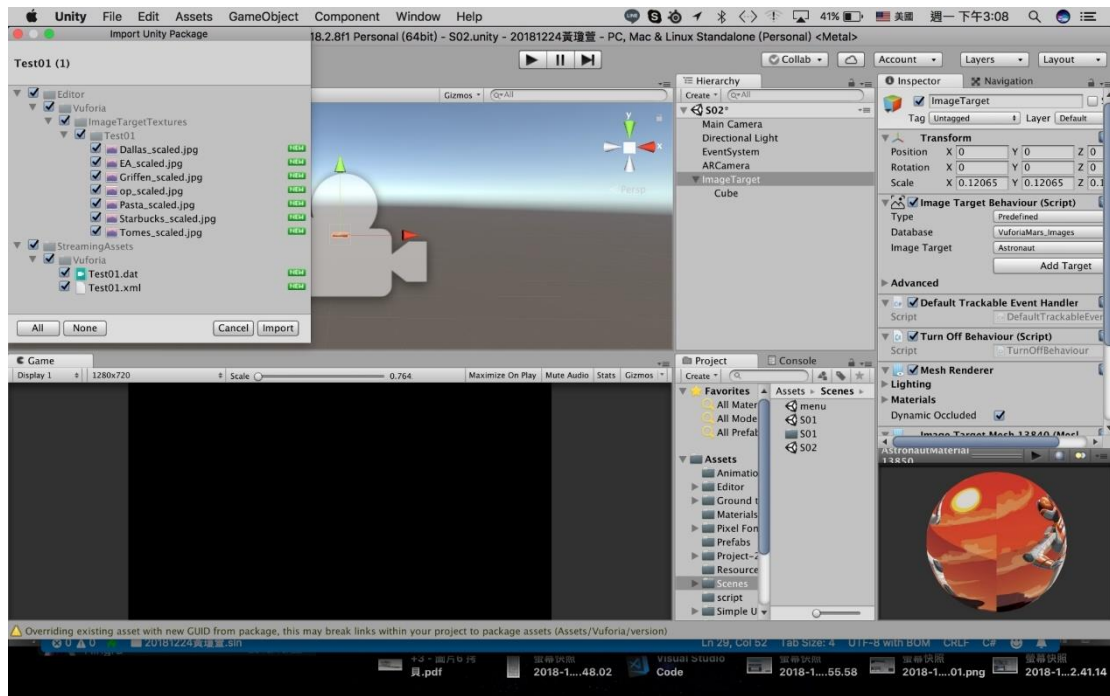


圖3-18- 32 匯入圖片

在 Image Target 中選擇剛剛所建立的群組，以及群組下的掃描對象圖片。

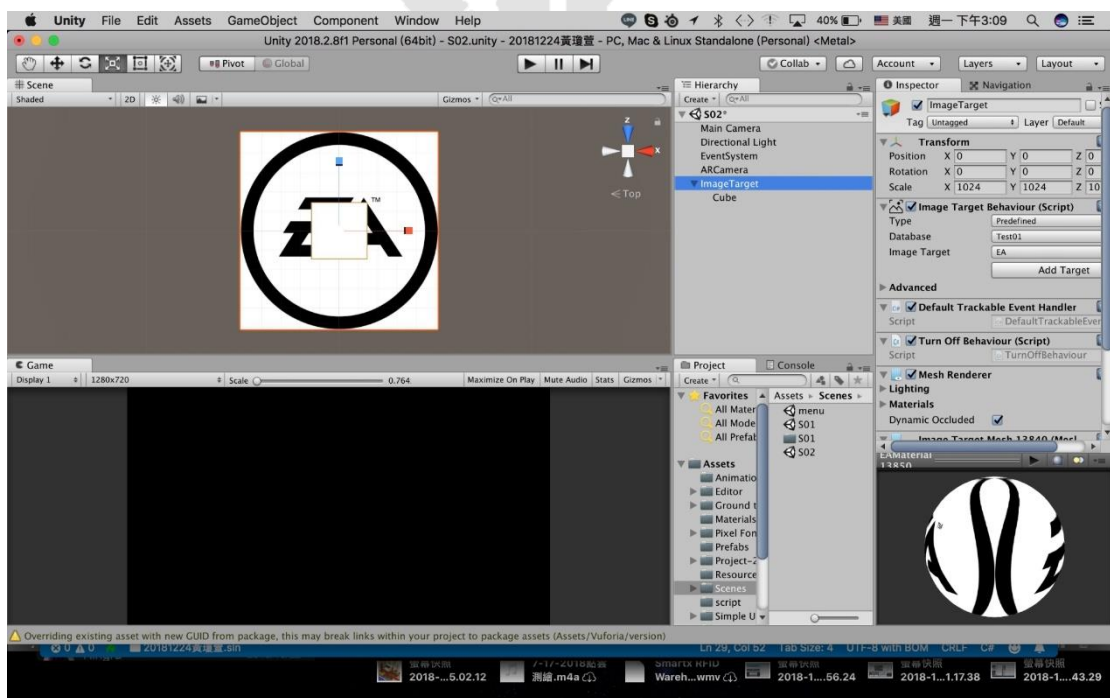


圖3-18- 33 設定掃描後要出現的物件

在人形動作腳本中寫入自動導航程式碼。並作出自動偵測進出範圍的電視牆開關觸發器。

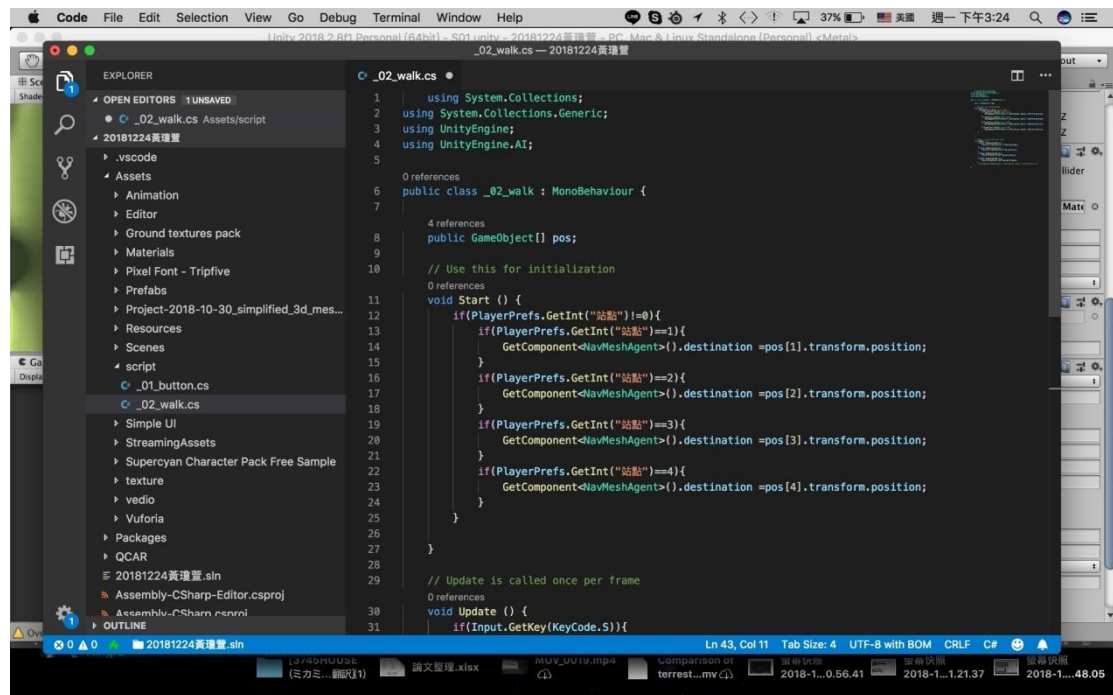


圖3-18- 34 編輯掃描腳本

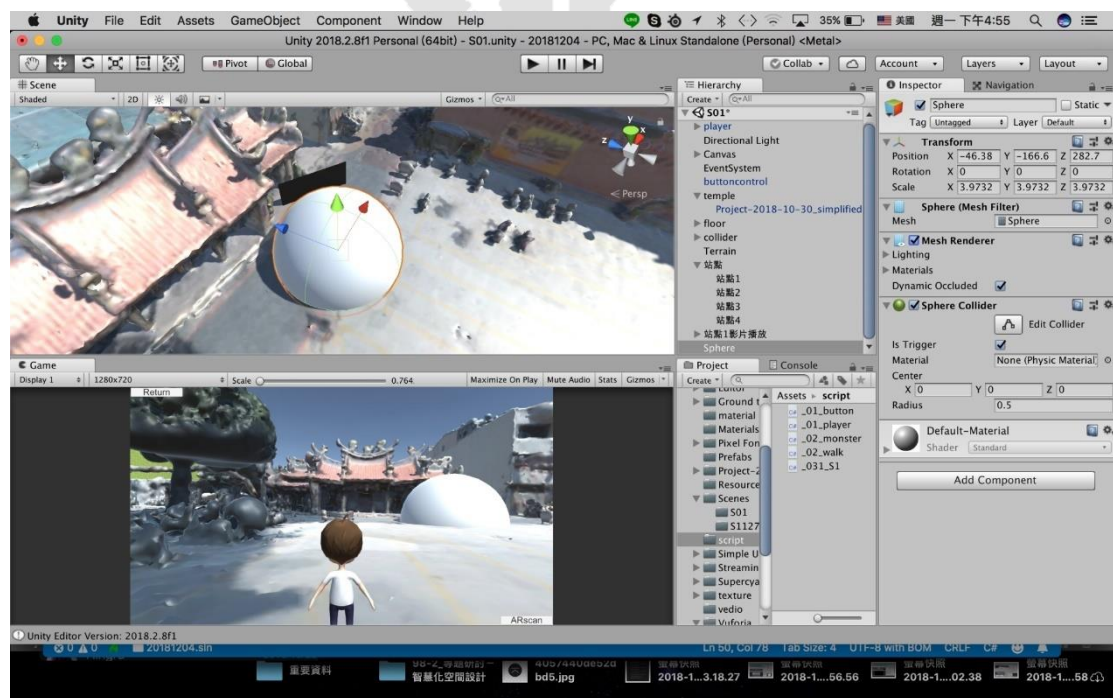


圖3-18- 35 建置感測器

在 AR 偵測的程式碼中直接進行改寫，寫入使掃描成功圖片可觸發自動導航的程式碼。

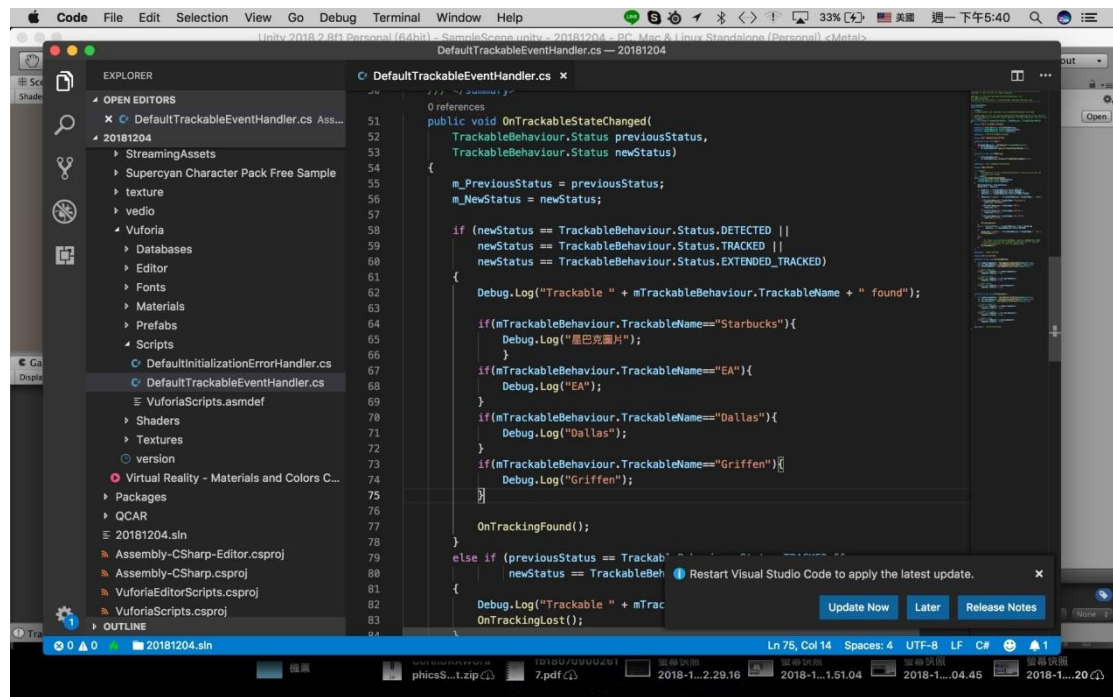


圖3-18-36 編輯掃描腳本成導航系統

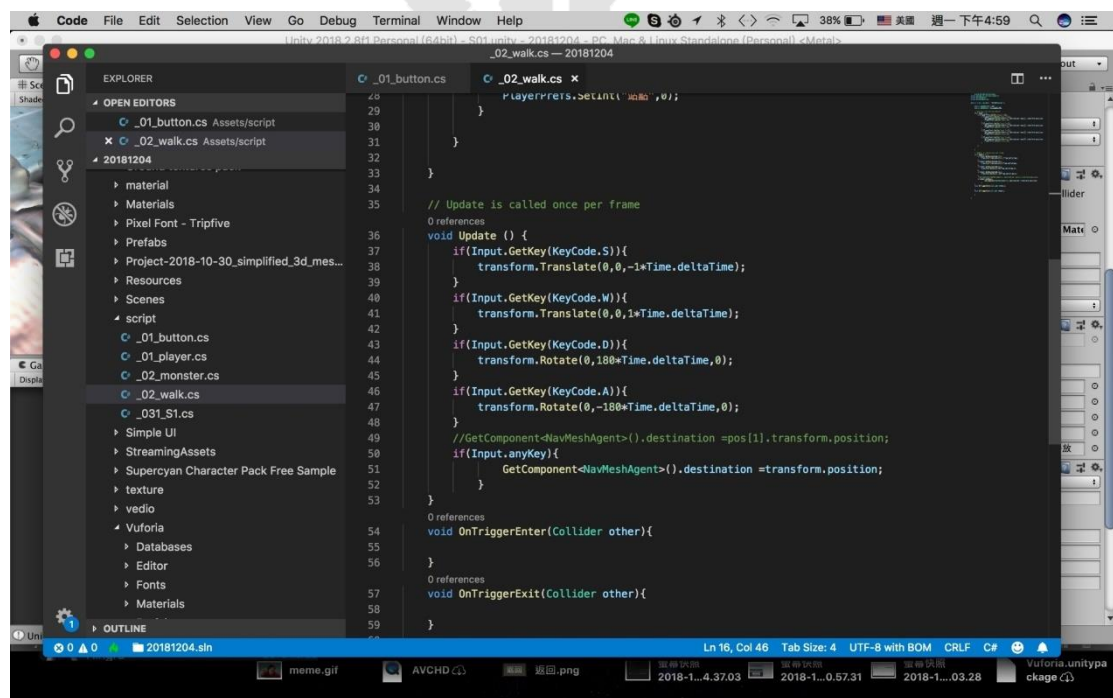


圖3-18-37 編輯觸發器腳本

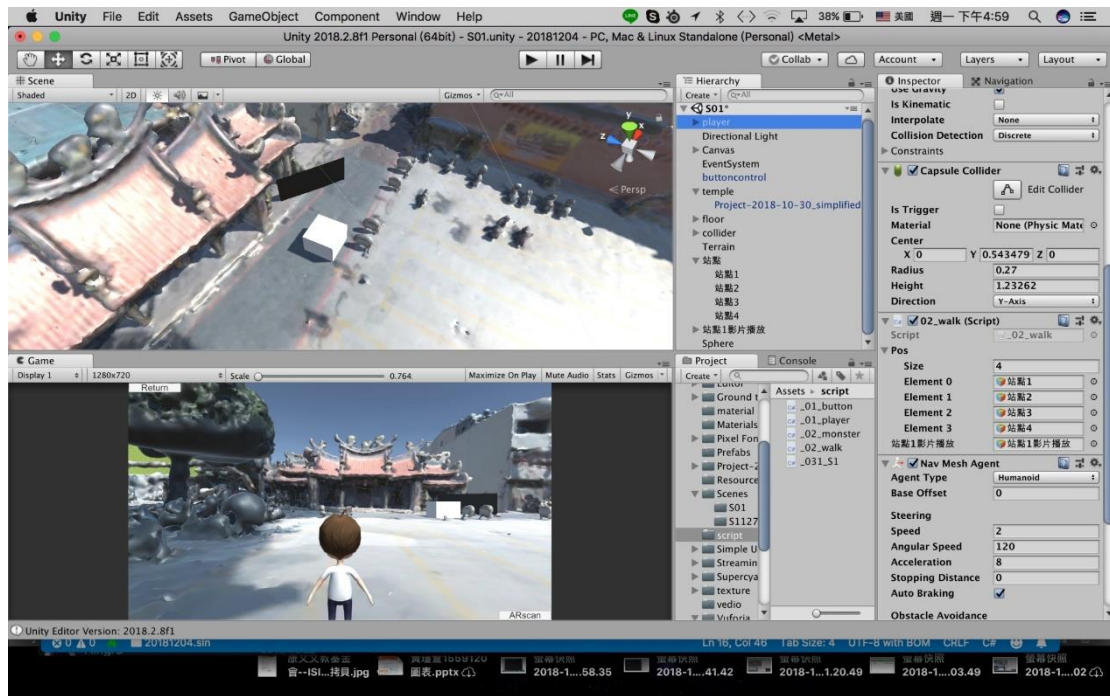


圖3-18- 38 測試程式

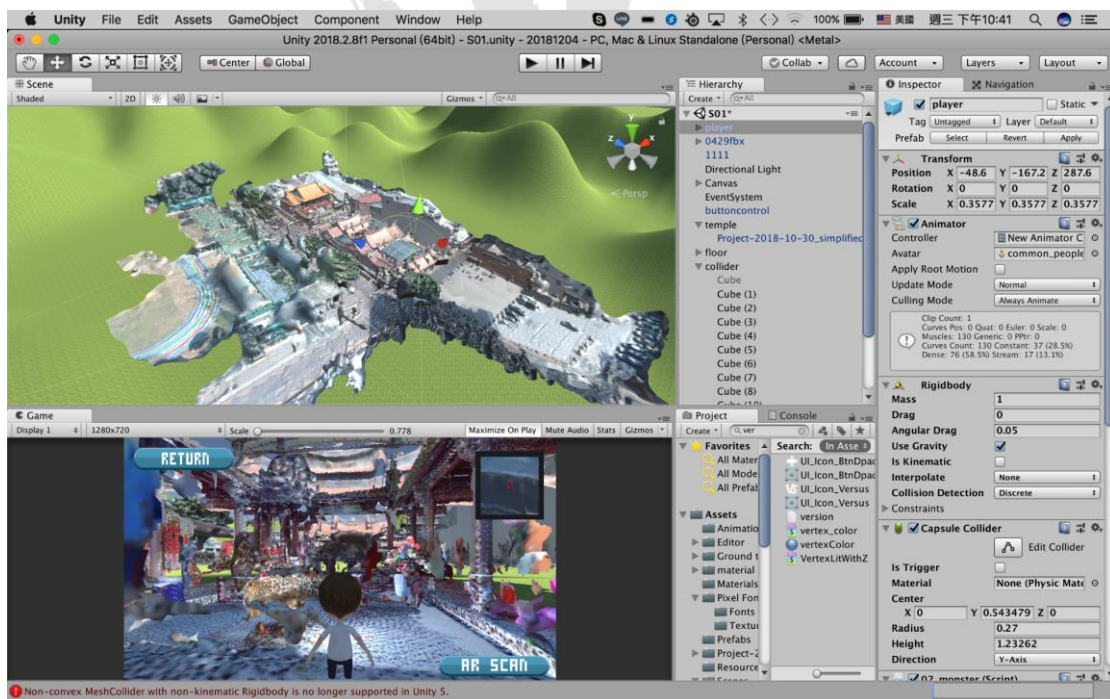


圖3-18- 39 室內空間結果

3-19 小結

圖3-19-1為研究與實作架構，從各式3D掃描方式與儀器中選擇地面光達(LiDAR)與無人飛行器(UAV)作為掃描儀器，地面光達掃描後使用的檔案為.flr，無人飛行器則使用飛行時拍攝的照片進行建模，再分別使用 ReCap 與 ReCap Photo 進行點雲建模。點雲建模完成後輸出成.e57檔案格式，輸入至 CloudCompare 點雲整合軟體，完成完整的合併點雲資訊，進行網格模型的轉檔運算，最後匯出網格檔案(fbx.)。接著匯入 Unity 遊戲引擎，設計適合古蹟導覽的介面與程式系統，連接 AR 擴增實境裝置即成功完成本次研究流程案例。

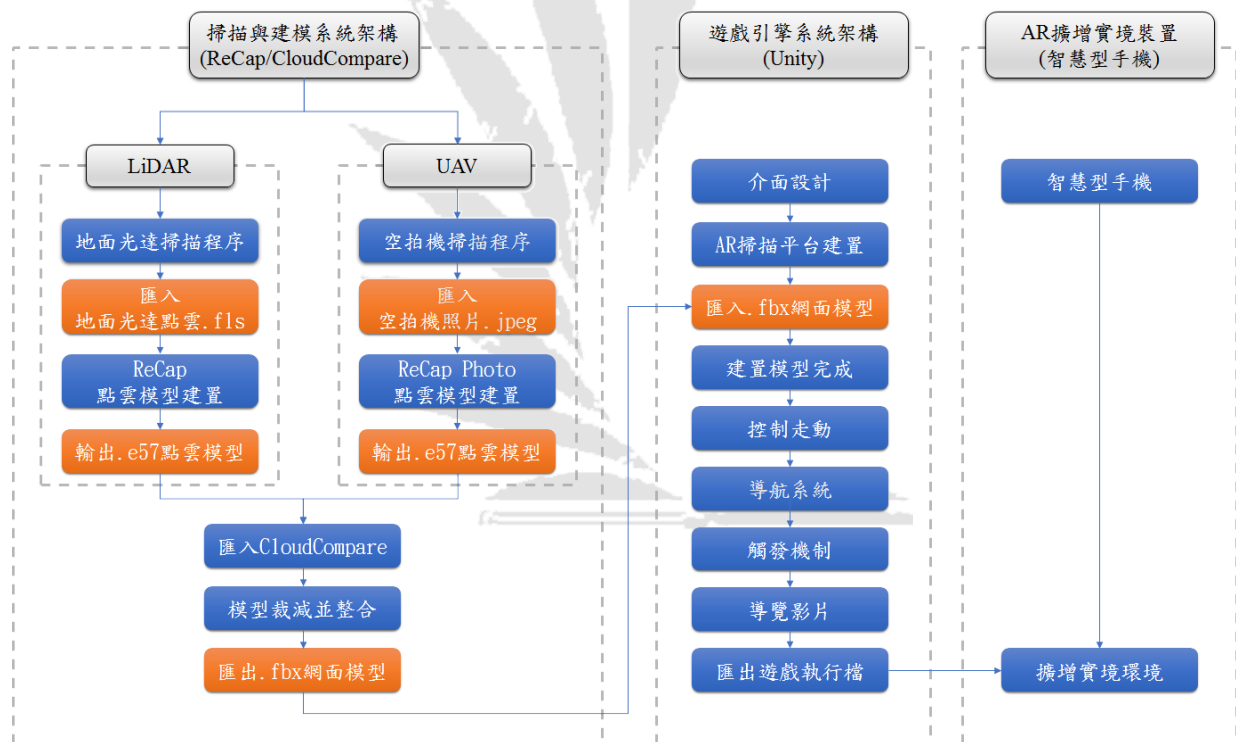


圖3-19-1 研究與實作架構

第四章 結論與建議

台灣在古蹟保存文化價值的意識抬頭，而依照現行規定於古蹟修復前須做現況調查等紀錄與分析，使用精細3D 掃描不僅能達到最精準的古蹟測繪，在未來設計整修甚至教育與行銷方面，皆有助於建築物的數位保存與教育推動。因此本次研究以台中市南屯區萬和宮為例，整理無人飛行器與地面光達儀的3D 掃描硬體的操作流程，以及驗證整合模型的步驟。

4-1 結論

本研究針對從硬體掃描流程至軟體操作，有系統地整理歸納。利用3D 掃描硬體操作至整合建模以及軟體進行文資應用，提出一套快速且簡便的3D 掃描模型建置流程。實作驗證無人飛行器掃描結合地面光達掃描，並且在文資應用上的可行性。茲將案例驗證研究發現陳列如下。

- (1) 傳統人工測繪方式需花費大量人力與時間，人工測量的方法百種，所測得的數據精準度也會依人力經驗而所不同。使用雷射掃描方式可以快速並精準的採集建物資訊。
- (2) 雷射掃描式測量系統現階段有一些問題尚須解決，但在未來的發展性相當好。目前雷射掃描儀價錢尚不親民，本研究使用的 Faro 掃描儀市價約三百萬，但近年來也出現更輕便且便宜的雷射掃描儀可作選擇，應當在未來有越來越普遍的趨勢。
- (3) 雷射掃描點雲資訊處理軟體稀少且昂貴，對教育推廣來講是一大阻力，但近年來有 CloudCompare 開源軟體供大家免費使用，並支援用戶研究開發更多相關輔助掛件，實為教育研究同仁的一大福音。

- (4) 但雷射掃描過後的大量數據資料，在處理點雲模型時有電腦硬體上的限制，以本研究為例，地面光達掃描儀之室內點雲資料僅採集前廳部分就已使電腦效能趨近極限，匯入 Unity 時也須考慮輸出的遊戲在使用者的裝置上是否能夠流暢運作。
- (5) 現今科技發展迅速，可以預期未來突破硬體極限後，雷射掃描點雲的資料大小也不是問題，因此統整出一個快速的多模型整合流程是必要的。

4-2 建議

- (1) 本次研究只選擇兩種掃描方式做點雲模型整合並統整製作流程。在以掃描後資料形式為點雲模型為前提，此流程應可以套用至各式掃描儀器，如手持式雷射掃描儀等，並且不局限於兩種掃描方式，在 CloudCompare 或其他點雲編輯軟體中可以被讀取的點雲資料形式如.e57，都有被應用的可能。
- (2) 本研究著重於模型統整及應用的流程整理，而因為電腦的硬體效能限制，萬和宮之雷射掃描儀室內空間只有使用前廳的點雲模型，做為本次研究的流程驗證範例。
- (3) 本次研究所提出的操作流程中，CloudCompare 與 ReCap Pro/Photo 的教育免費或免費開源軟體是為教育目的而編寫設計，當學生需要快速測繪或大略的建物模型做為文資應用的資源即適用。若需要做為商業或精細測繪操作，則須考慮更專業的點雲處理軟體，如 ContextCapture 或 Faro Scene 等。

4-3 總結

本研究利用無人飛行器普遍及廉價的優點，結合地面光達掃描技術，使提升視覺及資料完整度於建築文物精密3D 模型，最終推行普遍、精細、快速且完整的3D 建模流程，而此流程的價值在於如能快速地蒐集完整建物資訊，就能夠想像建物的全生命週期；從設計端到管理端；也將可輕易的監控與管理建築即時資訊，以此達到智慧建築的核心概念。

雷射掃描測繪與無人飛行器掃描已經是一種趨勢，傳統測繪需要依賴多種測繪工具以及人力的技術與經驗，且容易產生誤差。雷射掃描講求的是作業的標準化與效率化，可以提供使用者短時間內快速上手，而掃描出後的點雲資料做為數位模型檔案擁有應用最大化的特色。

整體來說，多種掃描方式的統整模型流程，有助於簡化傳統人工測繪的耗工費時以及誤差，對未來測繪以及文資應用方面來說是非常重要的。



圖4-3-1 整合模型與虛擬互動示意圖

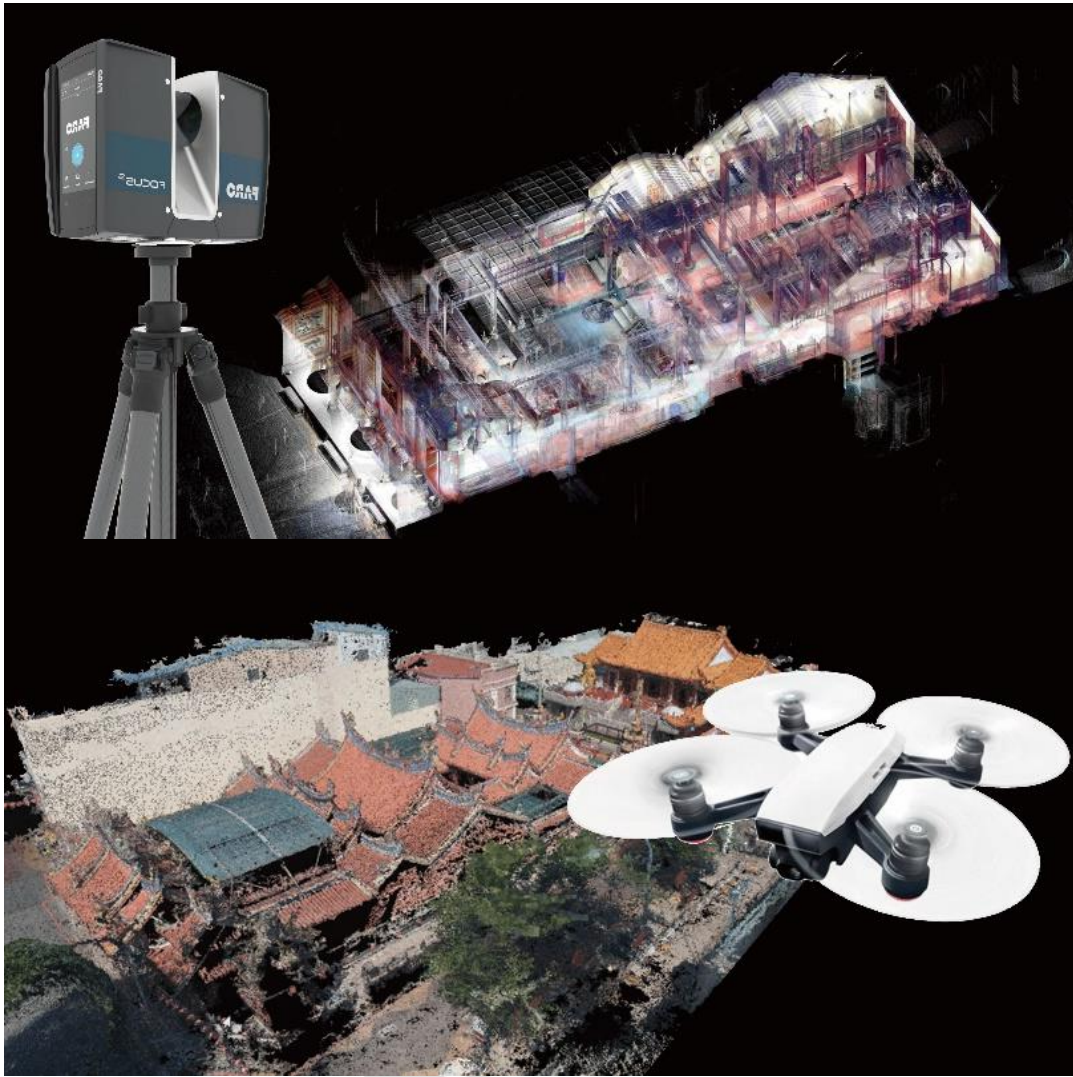


圖4-3-2 萬和宮掃描示意圖

參考文獻

- 王聰榮 (2017)。無人飛行載具運用於 BIM 與建築測量探討之研究。國立臺北科技大學碩士論文，未出版，台北市。
- 呂欣倫 (2016)。結合 BIM 與 Unity 技術互動式呈現住家節電樣式與教育。國立中央大學碩士論文，未出版，桃園市。
- 李安福、曾政祥、與吳曉明 (2014)。淺析國內傾斜攝影技術的發展 (Doctoral dissertation)。測繪與空間地理資訊 2014 年第 9 期，57-59。
- 李雨澈 (2017)。整合 BIM 與空間資訊技術於施工監測。臺灣大學土木工程學研究所學位論文。未出版，台北市。
- 李家宇 (2012)。3D 都市尺度雷射掃描在建築數位典藏之應用—以新竹縣北埔鄉、竹東鎮及大臺北地區為例。台灣科技大學建築研究所博士論文，未出版，台北市。
- 李磊、熊濤、胡湘陽、與熊俊 (2010)。淺論無人機應用領域及前景。地理空間資訊，8 (5)，7-9。
- 胡芯瑀 (2018)。以 UAV 輔助測繪三維實景整合 BIM 模型之可行性研究。朝陽科技大學，未出版，台中市。
- 張舜孔、邵慶旺、蔡育林、與陳俊宇 (2013)。3D 掃描技術應用於文化資產之適用性討論。文化資產保存學刊 第 26 期，頁 63-78。
- 莊均緯 (無日期)。光達掃描技術。擷取自 台灣省土木技師公會：<http://www.twce.org.tw/modules/freecontent/include.php?fname=twce/paper/991/7-1.htm>。上網日期：2018-08-07。
- 陳羿楨 (2018)。3D 點雲建模技術應用於左營舊城之數位重現。正修科技大學碩士論文，未出版，高雄市。

- 陳偉倫 (2017)。整合三維點雲技術與 BIM 技術建置古蹟模型之研究。國立臺北科技大學碩士論文，未出版，台北市。
- 陳朝瑞與陳春盛 (2006)。共軌球與反射標在不同距離下對三維雷射掃瞄儀精度影響之研究 (Doctoral dissertation)。國立交通大學碩士論文，未出版，新竹市。
- 黃品彰 (2017)。無人機載之傾斜攝影建模精度初探。國立臺北科技大學碩士論文，未出版，台北市。
- 廖玄銘、饒見有、任念志與楊素容 (無日期)。運用三維地理資訊系統整合空載傾斜攝影影像。擷取自 <http://gis.rchss.sinica.edu.tw/documents/paper/a7-02.pdf>。上網日期：2018-09-12。
- 漢寶德 (2014)。文化與文創 (第一版)。聯經出版事業公司，新北市。
- 黎俊逸 (2017)。無人飛行載具於大規模崩塌地調查之應用研究。交通大學土木工程系所學位論文，未出版，新竹市。
- Bille, R., Smith, S. P., Maund, K., & Brewer, G. (2014, December). Extending building information models into game engines. *In Proceedings of the 2014 Conference on Interactive Entertainment (pp. 1-8)*. ACM.
- Boeykens, S. (2011). *Using 3D Design software, BIM and game engines for architectural historical reconstruction*.
- Hoffmann, G.M.; Rajnarayan, D.G.; Waslander, S.L.; Dostal, D.; Jang, J.S.; Tomlin, C.J. (November 2004). "The Stanford Testbed of Autonomous Rotorcraft for Multi Agent Control (STARMAC)". *In the Proceedings of the 23rd Digital Avionics System Conference. Salt Lake City, UT. pp. 12.E.4/1-10*.
- James, M. R., & Robson, S. (2012). Straightforward reconstruction of 3D

- surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 117(F3).
- Kim, S. L., Suk, H. J., Kang, J. H., Jung, J. M., Laine, T. H., & Westlin, J. (2014, March). Using Unity 3D to facilitate mobile augmented reality game development. *In 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)* (pp. 21-26). IEEE.
- Lee, W., Kim, K., & Woo, W. (2009, September). Mobile phone-based 3D modeling framework for instant interaction. *In 2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision Workshops, ICCV Workshops* (pp. 1755-1762). IEEE.
- Liu, P., Chen, A. Y., Huang, Y. N., Han, J. Y., Lai, J. S., Kang, S. C., ... & Tsai, M. H. (2014). A review of rotorcraft unmanned aerial vehicle (UAV) developments and applications in civil engineering. *Smart Struct. Syst*, 13(6), 1065-1094.
- Mahayudin, M. H., & Mat, R. C. (2016, June). Online 3D terrain visualisation using Unity 3D game engine: A comparison of different contour intervals terrain data draped with UAV images. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*(Vol. 37, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.
- Mark. (無日期). 3D 掃描與照片建模實測心得分享 3D Scan & Photogrammetry. 擷取自 Mark 的地球漫步: <http://earth-walking.blogspot.com/2015/01/3d-3d-scan-photogrammetry.html>。上網日期：2018-11-21。
- Nex, F., & Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied geomatics*, 6(1), 1-15.
- Stafford, Jesse (Spring 2014). "How a Quadcopter works | Clay Allen". University of Alaska, Fairbanks. Retrieved 2015-01-20.

