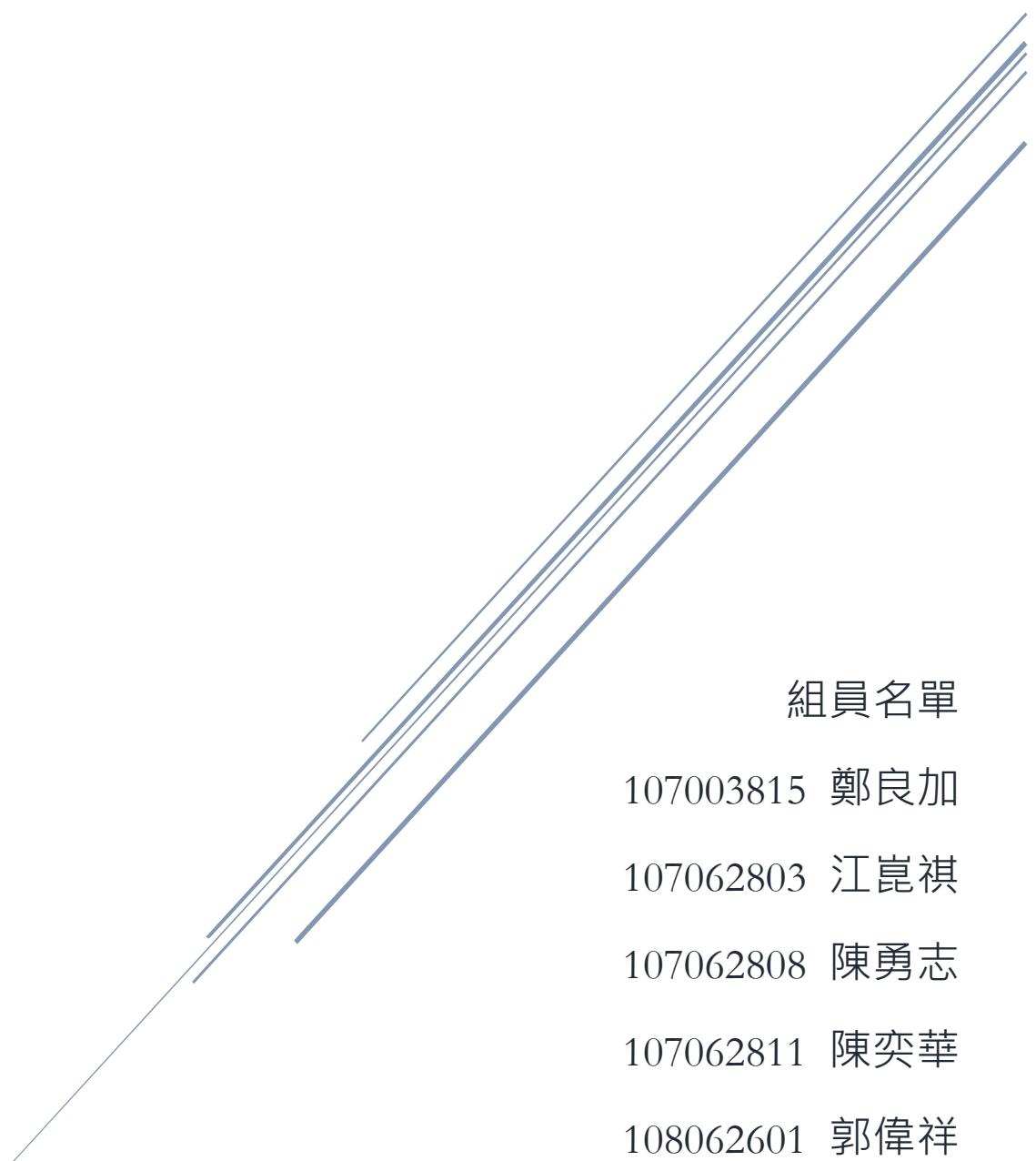


# In-depth Scene Exploration and Reconstruction System

SoC Final Project – Group 6



# Outline

|  |    |
|--|----|
| 1. Introduction .....                            | 6  |
| 2. Motivations .....                             | 9  |
| 3. System Architecture .....                     | 10 |
| 3.1. Overview .....                              | 10 |
| 3.2. Data Flow .....                             | 11 |
| 4. Technical Analysis .....                      | 12 |
| 4.1. Drone Specification .....                   | 12 |
| 4.2. SoC Specification .....                     | 13 |
| 4.2.1. Jetson AGX Xavier .....                   | 14 |
| 4.2.2. High Bandwidth Memory .....               | 15 |
| 4.2.3. 5th Generation Communication System ..... | 21 |
| 4.2.4. LiDAR .....                               | 23 |
| 4.2.5. SLAM .....                                | 27 |
| 4.2.6. Structure-from-Motion .....               | 33 |
| 4.2.7. AI Algorithm .....                        | 39 |
| 4.3. Edge Server .....                           | 41 |
| 4.3.1. Edge Computing .....                      | 41 |
| 4.3.2. NVIDIA EGX Platform .....                 | 42 |
| 4.3.3. Edge Server Specification .....           | 43 |
| 4.4. Display .....                               | 44 |
| 4.4.1. Between AR, VR, MR .....                  | 44 |
| 4.4.2. VR Headset .....                          | 45 |
| 4.5. Chiplet .....                               | 48 |
| 5. Global Market Analysis .....                  | 53 |
| 5.1. Market Analysis .....                       | 53 |
| 5.2. Porter's 5 Forces Analysis .....            | 56 |
| 5.3. S.W.O.T Analysis .....                      | 59 |
| 6. Conclusion .....                              | 60 |
| 7. References .....                              | 61 |
| 8. Team Member Task Partition .....              | 66 |

# 圖目錄

|   |    |
|---|----|
| 圖 1. RP-63 無人靶機 [1] .....                                     | 6  |
| 圖 2. 休閒娛樂用遙控飛機 [2] .....                                      | 7  |
| 圖 3. 空拍機[3] .....   | 7  |
| 圖 4. 睡美人洞穴搜救示意圖[9] .....                                      | 8  |
| 圖 5. 險峻地勢示意圖 .....  | 9  |
| 圖 6. 系統架構圖 .....  | 10 |
| 圖 7. 資料流程圖 .....  | 11 |
| 圖 8. 無人機規格 .....  | 12 |
| 圖 9. Jetson AGX Xavier 晶片圖 .....                              | 14 |
| 圖 10. High Bandwidth Memory 結構示意圖 .....                       | 15 |
| 圖 11. HBM2 晶片示意圖 .....  | 16 |
| 圖 12. JEDEC DRAM 分類標準 .....                                   | 17 |
| 圖 13. SK Hynix (海力士)HBM 架構 .....                              | 18 |
| 圖 14. SK Hynix (海力士)HBM 產品 .....                              | 19 |
| 圖 15. Samsung(三星)HBM2 產品 .....                                | 20 |
| 圖 16. 下世代 HBM 與 3D DRAM .....                                 | 20 |
| 圖 17. 天璣 1000 外觀與傳輸速率 [12] .....                              | 21 |
| 圖 18. 在模擬器中，自駕車 3D LiDAR 的感知呈現 .....                          | 23 |
| 圖 19. AMCW， 基於 TOF 的概念，而時間差計算是使用相位差.....                      | 23 |
| 圖 20. Pulsed Time-of-Flight (TOF) measurement principle ..... | 24 |

|   |    |
|---|----|
| 圖 21. LiDAR 技術分類.....   | 24 |
| 圖 22. 機械式 LiDAR 架構.....   | 25 |
| 圖 23. Pioneer MEMS LiDAR .....                                    | 26 |
| 圖 24. MEMS LiDAR 工作原理 .....                                       | 26 |
| 圖 25. SLAM 同步定位和地圖構建.....   | 27 |
| 圖 26. SLAM 演算法流程 .....  | 28 |
| 圖 27. LSD-SLAM 演算法流程 .....  | 29 |
| 圖 28. 透過 FPGA 加速特徵提取及比對 .....                                     | 31 |
| 圖 29. An 243mW 8ofps VGA Fully Visual CNN-SLAM Processor .....    | 32 |
| 圖 30. SLAM 技術需求及市場 .....  | 32 |
| 圖 31. Structure-from-Motion photogram metric principle [52] ..... | 33 |
| 圖 32. The Process of SfM Implementation .....                     | 34 |
| 圖 33. BRISK Sampling Pattern.....                                 | 35 |
| 圖 34. PIN-HOLE MODEL 相機，成像和物理世界的關係 .....                          | 36 |
| 圖 35. OpenSfM[53] .....   | 37 |
| 圖 36. Hurricane Dorian 後的災難救援應用[54].....                          | 38 |
| 圖 37. 整體系統架構圖.....  | 39 |
| 圖 38. HarDNet 架構圖 .....   | 39 |
| 圖 39. SSD-HarDNet 架構圖.....  | 40 |
| 圖 40. Object Detection Landscape .....                            | 40 |
| 圖 41. 雲端運算及邊緣運算示意圖 [10].....                                      | 41 |
| 圖 42. EGX 邊緣伺服器製造商[11].....                                       | 42 |

|  |    |
|--|----|
| 圖 43. 混合式雲端平台合作夥伴 .....                              | 42 |
| 圖 44. Edge Server 示意圖.....                           | 43 |
| 圖 45. Google Map AR[31] .....                        | 44 |
| 圖 46. VR 遊戲- Beat Saber[32] .....                    | 44 |
| 圖 47. HoloLens[33].....                              | 45 |
| 圖 48. 前置鏡頭[34] .....                                 | 46 |
| 圖 49. 內部的菲涅爾透鏡[35].....                              | 46 |
| 圖 50. WiGig[36].....                                 | 47 |
| 圖 51. VIVE PRO 版無線模組[37] .....                       | 47 |
| 圖 52. Cerebras Wafer Scale Engine 硅片面積 .....         | 48 |
| 圖 53. Chip-level IP(Intellectual Property) .....     | 49 |
| 圖 54. Chiplet 多晶片介面 .....                            | 49 |
| 圖 55. 各式 Chiplet 晶片 .....                            | 51 |
| 圖 56. AMD Chiplet 設計演進 .....                         | 51 |
| 圖 57. Chiplet 整合設計 .....                             | 52 |
| 圖 58. 自主開發 Chiplet SoC .....                         | 52 |
| 圖 59. 消防機器人[55] .....                                | 53 |
| 圖 60. Prototype made by KMUT North Bangkok[56] ..... | 53 |
| 圖 61. Aerial Rescue Robot – PARS.[57] .....          | 53 |
| 圖 62. 2017 年全球機器人市場結構(億美金)[58].....                  | 55 |
| 圖 63. 2012-2020 年全球特種機器人銷售額及成長率[59].....             | 55 |
| 圖 64. 無人機隧道飛行解決方案[38] .....                          | 57 |

|   |    |
|---|----|
| 圖 65. 隧道履帶機器人[39] .....                 | 58 |
| 圖 66. Boston Dynamics- HANDLE[41] ..... | 59 |
| 圖 67. Boston Dynamics- Atlas[40] .....  | 59 |

## 表目錄

|  |    |
|--|----|
| 表 1. 無人機上搭載 SoC 之規格 .....                    | 13 |
| 表 2. Jetson AGX Xavier 規格 .....              | 14 |
| 表 3. Tesla V100 頻寬計算 .....                   | 16 |
| 表 4. GDDR6 與 HBM2 比較 .....                   | 18 |
| 表 5. Dimensity 1000 Specification [12] ..... | 22 |
| 表 6. 光達技術規格大比拏[48].....                      | 25 |
| 表 7. SLAM 演算法比較 .....                        | 29 |
| 表 8. LiDAR SLAM 與 Visual SLAM 比較 .....       | 30 |
| 表 9. Edge Server 規格 .....                    | 43 |
| 表 10. HTC VIVE Pro 規格 .....                  | 45 |
| 表 11. CCIX、GenZ、OpenCAPI 比較 .....            | 50 |
| 表 12. 全球頂尖救災機器人製造公司.....                     | 54 |

## 1. Introduction

最早的無人機 ( Drones、Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) 或是四軸飛行器 ) 開發約在第一次世界大戰後，出現於第二次世界大戰期間。無人機為一種無線電操控的無人駕駛飛機，在二戰時作為訓練防空炮手用的靶機出現。近年來隨著通訊技術、網路及資訊的發展，無人機的市場日益蓬勃，不再僅是作為軍事用途使用。



圖 1. RP-63 無人靶機 [1]

依據用途的不同，無人機用途也相當廣泛。除了早期的軍事用途機外、現在玩樂性質的遙控飛機外，也有在機身上搭載相機的無人機( 通常被稱為空拍機 )。在大型集會中也常見空拍機的身影。隨著通訊技術、資訊及網路的整合，無人機的應用範圍也逐漸擴大，例如農業輔助、貨物運輸、山林及動物管理監測、城市基礎設施規畫，安全檢查和維護、國土調查，氣候/環境監測[7]等。



圖 2. 休閒娛樂用遙控飛機 [2]



圖 3. 空拍機[3]

在這些應用中，由於目前人類對於地形探勘及巡訪等較為危險、險惡地點的工業安全及人員安全意識越來越為重視。作為醫療[5][6]及救災用途，搭配熱成像功能的無人機[4]也益發廣泛。

在 2018 年 6 月時，泰國的一支足球隊，有 12 名足球員及 1 名教練進入泰北睡美人洞探險，卻因淹水而受困洞穴中。雖然最後全數救出，但卻有一名潛水員 Samarn Kunan 在救援過程中不幸罹難[8][9]。在本篇中，我們希望可以進一步

的開拓無人機的應用範圍，在可以避免將人員置於險境的情境中，運用最少的人力完成環境探測以及建模。

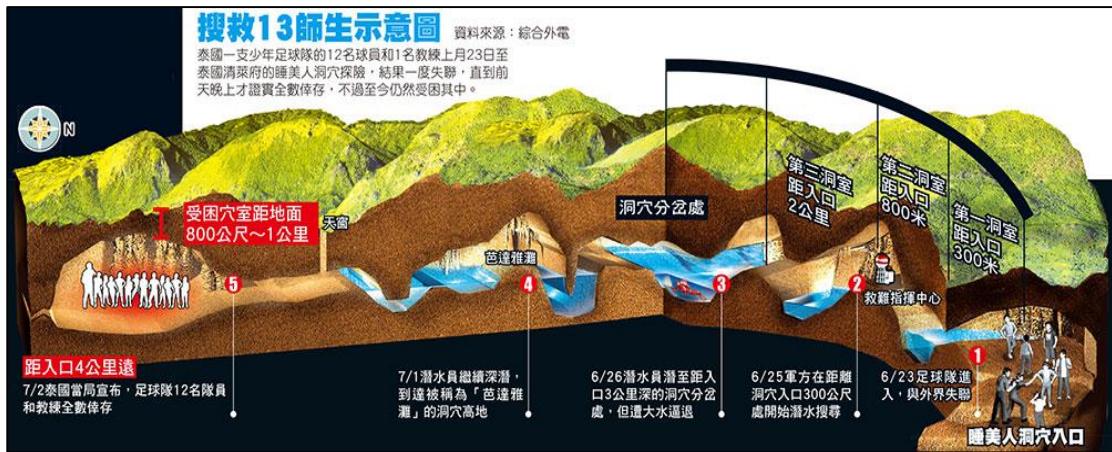


圖 4. 睡美人洞穴搜救示意圖[9]

在我們的設計中，會透過組成無人機隊進入待探索地帶蒐集環境資訊，並藉由在無人機上搭載 5G 通訊技術，將環境資訊傳送到邊緣運算伺服器。在邊緣運算伺服器完成 3D 環境建模完成後，透過虛擬實境 ( Virtual Reality, VR ) 方式呈現在使用者/救援領導者眼前。

在第二、三章中，將會說明我們對於這套系統的構想及呈現我們的設計中所包含的各項技術及其交互關係。在第四章中，會對系統架構中的三個部分：環境探勘載具、邊緣運算系統、虛擬實境技術，以及我們為次系統所制定的 SoC 分別做詳細的技術探討。市場分析及波特五力分析將會在第五章中呈現。最後在第六章中總結我們所提出的設計。

## 2. Motivations

人類本身具有無窮的好奇心與探索本能，而天災人禍的產生也迫使人們開始思考如何針對不同環境採取救援行動。其中，有些地形探勘及巡訪對人類本身的危險性較高，如無人礦坑、未知洞穴或崩塌建築...等，如圖 5。為了滿足人類探索的好奇心與援助他人的天性，並降低這些過程對人體的威脅性。我們希望提供一套可以盡情探索並大幅降低人體危害的無人即時探索系統來滿足人類的探索本能。我們重新設計了可自由飛行較不受地形障礙的無人飛行載具並搭載新型態的環境蒐集感測器與即時資訊傳輸系統進行險峻地勢的探勘與分析。



圖 5. 險峻地勢示意圖

我們提出的系統將整合現有實體產品與新興技術分為三部分進行探討：

- (1) 環境探勘載具 – 無人機與其設計
- (2) 邊緣運算系統 – 及時運算系統資訊
- (3) 即時顯示平台 – 3D 顯示與即時語音系統

在接下來的章節中將詳細說明我們如何針對上述需求尋找合適的解決方案，並將這些技術整合、平行化到各部件中，以提供一套完整的系統來建立環境深度資訊與其環境資訊提供人類一種安全的探索方案。

### 3. System Architecture

#### 3.1. Overview

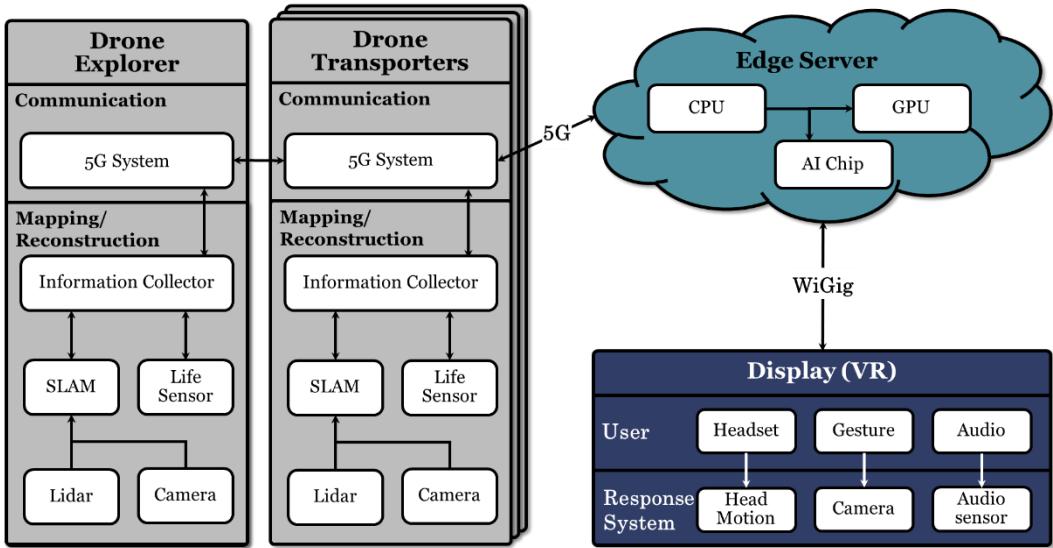


圖 6. 系統架構圖

本設計分為三大部分，其中以無人機作為主要探索載具。並採用無人機隊的概念在環境險峻且無訊號環境中透過 5G 晶片作為橋接信號系統進行環境探索。因此，我們會在無人機上搭載一塊 SoC。而這個 SoC 會透過 Chiplet 來實現，其中功能包含傳輸過程中所需要的 5G 傳輸晶片、Lidar 與 SLAM 系統與周邊感測器等晶片進行結合。並於飛行路徑中所蒐集到的資訊經過 Information Collector 來進行路徑判定與環境資訊的蒐集並透過 5G 傳輸至 Edge Server。最後將蒐集到的環境資訊傳送至 Edge Server 進行資料的辨認與建立環境模型。此部分將透過 CPU 先將環境資料做預處理並將處理後的資料分別傳送至 AI chip 與 GPU 來萃取環境特徵並建立 3D 環境模型。爾後，將建立好的環境資訊透過 WiGig 傳送至 VR 上，供探索人員可以直覺式的判讀資訊。圖 6 展示了我們對於整體系統的設計概念與實際架構內容。透過這種架構，我們可以高度的擴展無人機的探索範圍且其探索結果會是較為即時且不受環境影響。

### 3.2. Data Flow

在我們的系統架構中，會由一組無人機隊作為資料的蒐集者或是轉送者來完成整個地圖的探勘。其中，主要傳送的資料組成會是由探索機( Drone Explorer )與轉送機 ( Drone Transporters )來完成。蒐集與傳輸資料分為三大主軸，(1) LiDAR 發射雷射光、接收物體反射的雷射光以點雲 ( Point Cloud ) 來建立環境模型，並與視覺影像結合來讓無人機飛行無虞，在這過程中將資料用即時向後傳輸給轉送機。(2)而轉送機的主要工作為確保資料傳送過程是正確且即時的，因此當資料從前方探索機或是前一階轉送機傳送過來時，將會針對這個資料確認其內容無虞並快速地往後傳送。(3)最後，當資料轉送到邊緣伺服器後完成 3D 建模並將視訊以虛擬實境的方式呈現在使用者端便完成該本設計主要的構想。資料流程見圖 7。

由於本設計目前主要在探勘應用上，若應用於急難救助的議題上，未來也能進一步的讓探索機探測到生命時可以即時的在虛擬實境中呈現。並且讓使用者可以與待救援者進行語音對談，以進一步確認被救援者的狀態並緩解緊張與无助的情緒。

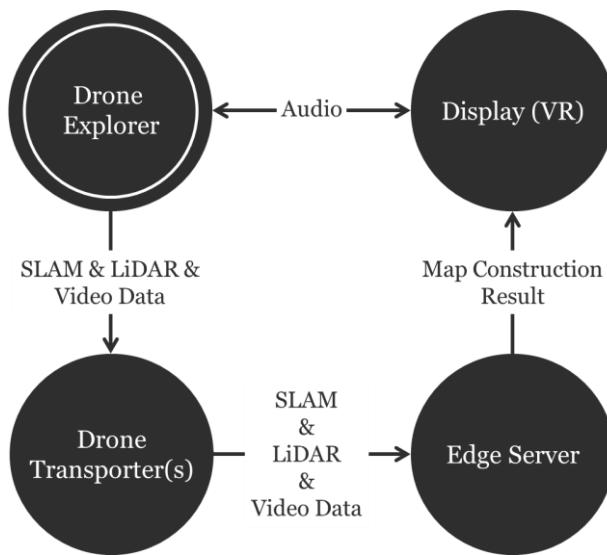


圖 7. 資料流程圖

## 4. Technical Analysis

### 4.1. Drone Specification

我們所提出的無人機規格，以 DJI Mavic Pro 鉑金版（官網售價約為新台幣 33,000）為原型來做改進設計如圖 8。在這架無人機中我們保留原先擁有的相機，影像感測器為 1/2.3 英寸 CMOS，錄影解析度可達 C4K (4096 × 2160) 24p、容量為 3830 mAh 的智能飛行電池。基於 DJI Mavic Pro 鉑金版，我們在內部設計了一顆全新、適用於險峻環境探勘且可以高速傳送資料的 SoC。在這個 SoC 上我們透過 Chiplet 的封裝技術將 5G、LiDAR、CPU、GPU、SLAM、HBM2、5G 這些晶片整合在一起並置入無人機中，以上這些相關技術將會在後續章節中逐一介紹。透過這種封裝技術可以將晶片不必要的線路與周邊元件去除，藉此達到低重量與高運算效率的效果。

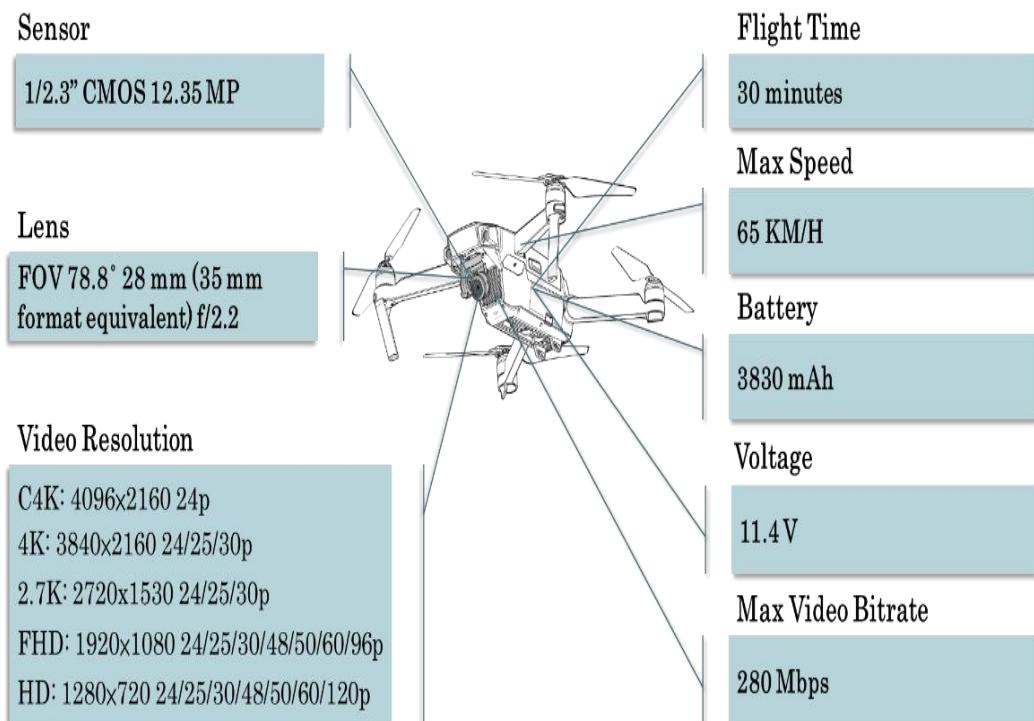


圖 8. 無人機規格

## 4.2. SoC Specification

我們的 SoC 設計規格如表 1 所示，包含：

- (1) NVIDIA Jetson AGX Xavier Series 上所搭載的 CPU: 8-core NVIDIA Carmel Arm®v8.2 及 GPU: 512-core NVIDIA Volta™ GPU with 64 Tensor Cores
- (2) 頻寬為 128 GB/s 的第二代高頻寬記憶體 ( HBM2 )
- (3) 採用 Sub-6 GHz 頻段的天璣 1000 晶片
- (4) 垂直視角 15°、水平視角 120°、取樣率為 10Hz 的 LiDAR 傳感器
- (5) SLAM 硬體加速器

由於當前無人機可飛行時間大約落 30–40 鐘，在此限制下，我們的設計可允許無人機探索來回約 15 公里及利用 AI 計算相關避障、路徑決策等演算法、傳輸影像畫質為 48op，並利用 5G 通訊低功耗與高傳輸的優勢傳回到邊緣伺服器進行環境建模，在 4.2.1–4.2.7 中將會討論上述相關技術及選用原則。

表 1. 無人機上搭載 SoC 之規格

| Item  | Specification  |
|-------|--|
| CPU   | 8-core NVIDIA Carmel Arm®v8.2 64-bit CPU 8MB L2 + 4MB L3                             |
| GPU   | 512-core NVIDIA Volta™ GPU with 64 Tensor Cores                                      |
| LiDAR | Vertical angle of view: 15°<br>Horizontal angle of view: 120°<br>Sampling rate: 10Hz |
| SLAM  | 30 cm resolution for 3D modeling   |
| HBM2  | Density: 2 GB<br>Bandwidth: 128 GB/s   |
| 5G    | Sub-6 GHz,<br>Transfer BW: 280MB/s (Video: 220MB/s for 48op)<br>LiDAR + SLAM: 20MB/s |

#### 4.2.1. Jetson AGX Xavier

經過我們的評估 Jetson AGX Xavier 可以提供足夠的算力讓無人機所使用的 AI 演算法達到 real-time 的標準。圖 9 及表 2 分別為 Jetson AGX Xavier 的圖以及規格表。

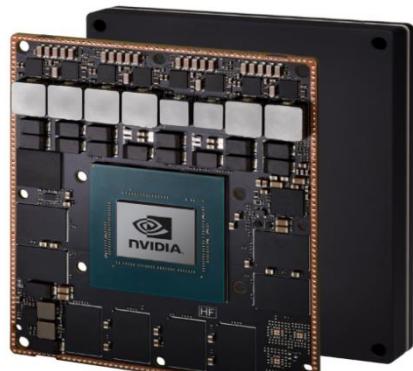


圖 9. Jetson AGX Xavier 晶片圖

表 2. Jetson AGX Xavier 規格

|               | <b>Jetson AGX Xavier Series</b>   |
|---------------|---|
|               | AGX Xavier  |
| <b>AI 效能</b>  | <b>32 TOPS</b>  |
| <b>GPU</b>    | <b>512-core NVIDIA Volta™ GPU with 64 Tensor Cores</b>  |
| <b>CPU</b>    | <b>8-core NVIDIA Carmel Arm® v8.2 64-bit CPU 8MB L2 + 4MB L3</b>  |
| 記憶體           | 16 GB 256-bit LPDDR4x 136.5GB/s   |
| 儲存空間          | 32GB eMMC 5.1   |
| 電源            | 10W   15W   30W   |
| <b>CSI 相機</b> | 至多 6 cameras (藉由虛擬通道可拓展至 36 個)<br>16 lanes MIPI CSI-2   8 lanes SLVS-EC<br>D-PHY 1.2 (up to 40 Gbps)<br>C-PHY 1.1 (up to 59 Gbps) |
| <b>影片編碼</b>   | 2x1000MP/sec<br>4x 4K @ 60 (HEVC)<br>16x 1080p @ 60 (HEVC)<br>32x 1080p @ 30 (HEVC)   |
| <b>影片解碼</b>   | 2x1500MP/sec<br>2x 8K @ 30 (HEVC)<br>6x 4K @ 60 (HEVC)<br>26x 1080p @ 60 (HEVC)<br>72x 1080p @ 30 (HEVC)                          |
| <b>DL 加速器</b> | 2x NVDLA Engines  |
| <b>視覺加速器</b>  | 7-Way VLIW Vision Processor   |

#### 4.2.2. High Bandwidth Memory

高頻寬記憶體(High Bandwidth Memory; HBM)是一種基於 3D 垂直堆疊的高效能 DRAM，將多個 DRAM die 透過 TSV 與 Microbump 互相串聯完成上下堆疊，最底層是 DRAM 邏輯控制單元，對 DRAM die 進行控制；其他晶片單元(ex: CPU/GPU/NPU)想存取 DRAM，可經由 uBump 和“中介層”Interposer(silicon 材質並以多層金屬連線)來互相連通，以縮短資料傳輸時間，Interposer 再以 Bump 型式銜接 Package Substrate(封裝基板)，BGA BALL 再連接到外部 PCB，其架構如圖 10 所示。

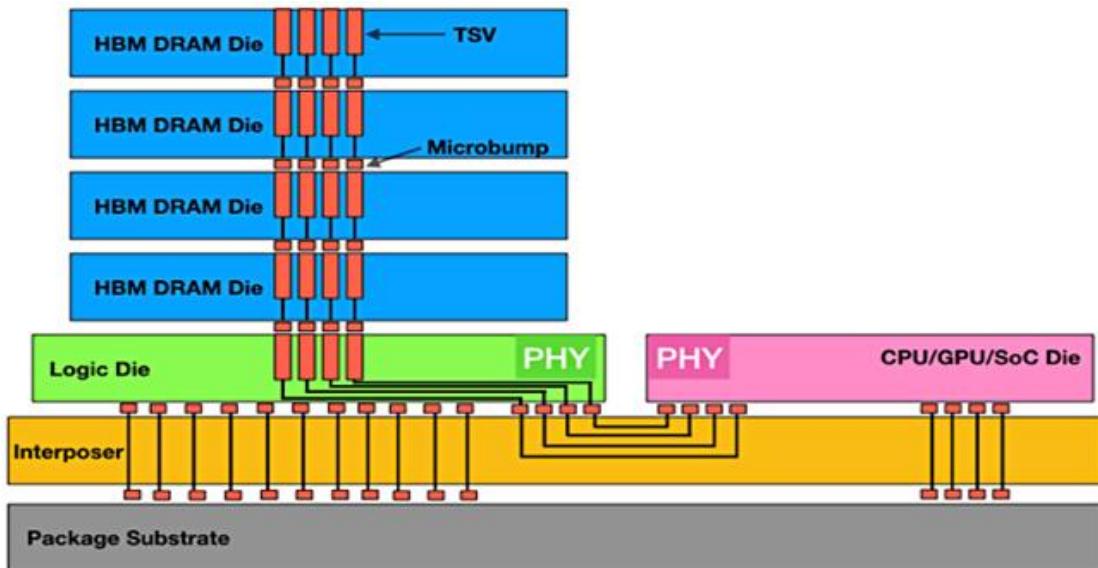


圖 10. High Bandwidth Memory 結構示意圖

由於 HBM 需要與矽中介層 (silicon interposers) 整合，因此三星利用其優勢及矽穿孔 TSV (Through Silicon Via) 技術，達成單一封裝內含 8 顆 8Gb 容量 HBM2 裸晶，並以超過 5,000 個 TSV 垂直互連；此外三星還增加了 HBM2 裸晶之間的散熱凸塊 (thermal bumps)，能實現對每個封裝更強力的散熱控制。並在封裝底部添加了保護層，提高其整體物理強度。

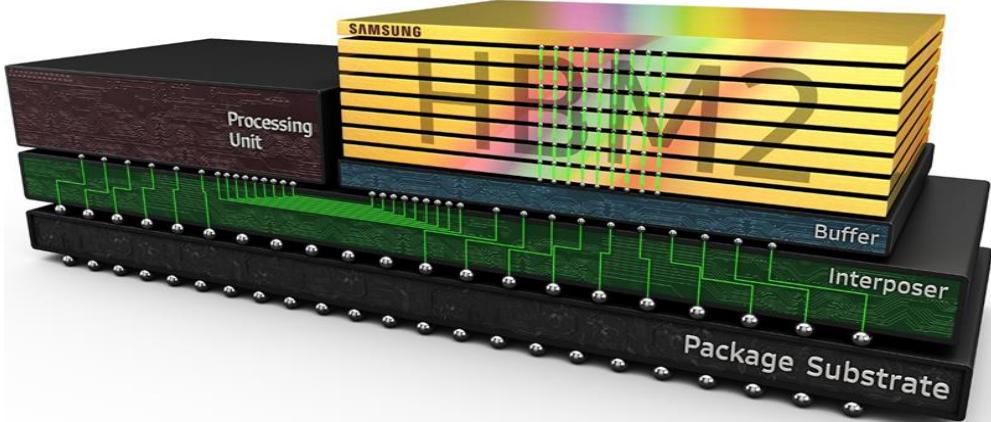


圖 11. HBM2 晶片示意圖

2013 年 10 月，HBM 正式被 JEDEC 採納為業界標準。HBM 以 500MHz 計算，單顆粒的頻寬可達： $500\text{Mhz} \times 2 \text{ 倍頻} \times 2 \text{ Channel} \times 128\text{bit} \times 4\text{Die} / 8 = 1000\text{GB/s}$ ；

HBM2（圖 11）則於 2016 年 1 月被 JEDEC 採納，歷經 HBM1 代、2 代 HBM2，目前最新發展為 HBM2 Extended (HBM2E)。HBM2 clock 加倍，以 500MHz 計算，單顆粒頻寬可達  $2 \times 128\text{GB/s} = 256\text{GB/s}$ ；NVIDIA Tesla 運算加速卡 P100、AMD 的 Radeon RX Vega 系列、Intel Knight Landing、NEC SX-Aurora TSUBASA、Xilinx Virtex UltraScale FPGA 都採用了第二代高頻寬記憶體 HBM2。舉 Nvidia Tesla V100 為例 (GPU 和 HBM 間使用矽中介層之 2.5D 封裝)，使用 4 顆，頻寬為： $1107\text{MHz} \times 2 \text{ 倍頻} \times 4096\text{bit} / 8 = 1113.568\text{GB/s}$ 。

表 3. Tesla V100 頻寬計算

| Specification         | Tesla V100S PCIe 32GB |
|-----------------------|-----------------------|
| Maximum memory clock  | 1107 MHz              |
| Memory size           | 32 GB HBM2            |
| Memory bus width      | 4096-bit              |
| Peak memory bandwidth | Up to 1134 GB/s       |

HBM3 第三代高頻寬記憶體於 2016 年正式公開，預計擴大記憶體容量、提升了記憶體頻寬(512GB/s 或更高)並降低電壓與價格，HBM3+的計劃速度為 4

TB/s · 有了 32 Gbit(4 GB)的 DRAM 裸晶 · 再加上 HBM3+每堆上 16 片裸晶 ·

每個 HBM3+組件理論上能提供 64GB 的容量 · 但目前尚未發布量產日期 ·

HBM4 第四代高頻寬記憶體可能發生在 2024 年 · 頻寬及容量也會逐級增長 · 估計到了 HBM 4 時代 · 每個 CPU 支援的容量可達 512GB · 頻寬超過 8TB/s ·

JEDEC 標準化組織 · 定義並開發了以下三個 DRAM 分類標準 · 以幫助設計人員滿足其目標應用的功率 · 性能和面積要求 ·

(1)標準 DDR: 針對伺服器、雲端計算、網絡、筆記型電腦、桌機和消費者應用 · 自 2013 年以來 · DDR4 是最受歡迎的標準 · 而 DDR5 將緊接著被採用 ·

(2)移動型 DDR: 針對手持式移動性產品(手機)和汽車等等 · 這些領域對面積和功耗非常敏感 · 需要更窄的通道寬度和低功耗工作狀態 · 使用標準是 LPDDR4 甚至是 LPDDR5 ·

(3)圖形運算 DDR: 針對需要非常高吞吐量的巨量數據型應用 · 例如圖形運算 · 數據中心加速和 AI · 其中 GDDR 和 HBM 是此類別中最常見的標準 ·

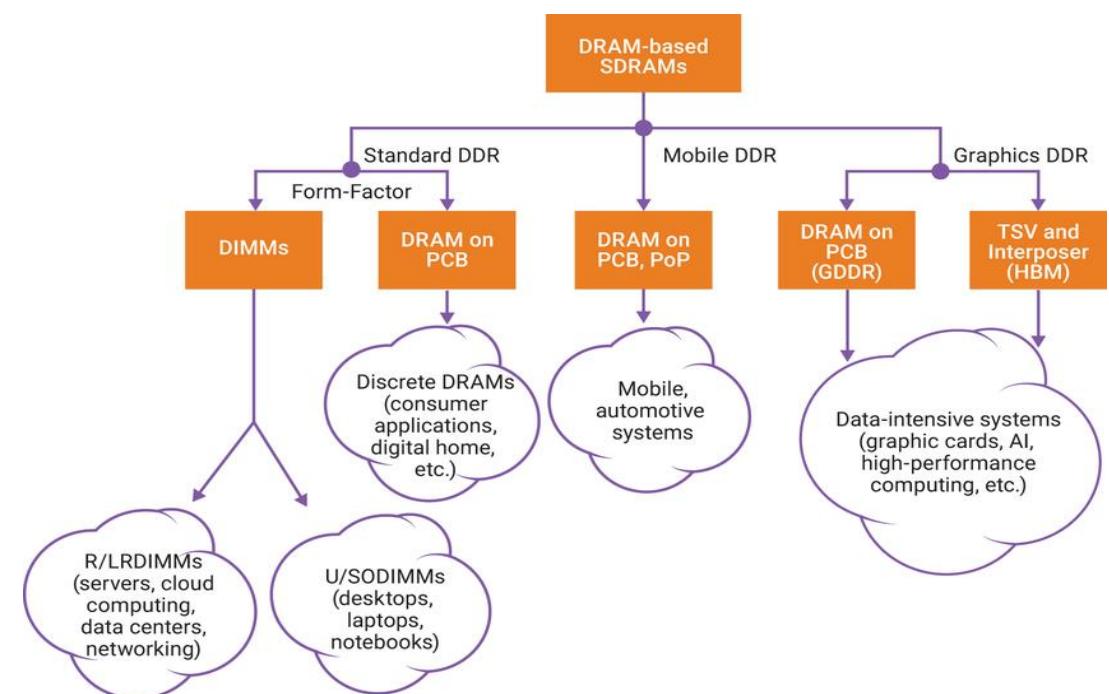


圖 12. JEDEC DRAM 分類標準

比較 GDDR6 與 HBM2 可以發現（表 4），DDR6 以更高 data rate 和更窄通道為目標，提供所需吞吐量，而 HBM 存儲器通過八個獨立通道且每個通道提供更寬的數據路徑（每個通道 128 bits）達到同樣效果，但僅以約 2Gbps 速度運行。因此，與 GDDR6 相比，HBM2 能以較低功率和較小面積來提供高吞吐量。

表 4. GDDR6 與 HBM2 比較

| Item                      | GDDR6                   | HBM2  |
|---------------------------|-------------------------|---|
| DRAM density              | 16 Gb (per chip)        | 64 Gb (per stack)   |
| # Channels / DRAM package | 2 channels              | 8 channels  |
| # Bits in a channel       | 16 bits                 | 128 bits  |
| Speed                     | 16 Gb/s                 | 2.4 Gb/s  |
| Overall bandwidth         | 64 GB/s                 | 307 GB/s  |
| Power efficiency          |                         | Better than GDDR6   |
| Cost                      | Lower cost than HBM2    |   |
| Packaging process         | Traditional DRAM on PCB | Uses a 2.5D Interposer for connectivity between the host and the HBM2 DRAMs |

HBM2 適用於高記憶體頻寬需求的應用場合，例如：圖形處理器、網路交換及轉發裝置（如路由器、交換器）等，目前由三星 Samsung 電子、超微半導體和 SK Hynix 海力士主導 HBM 發展：

SK Hynix(海力士)於 2016 年 8 月發布 4GB 版本的 HBM，架構類似如下：

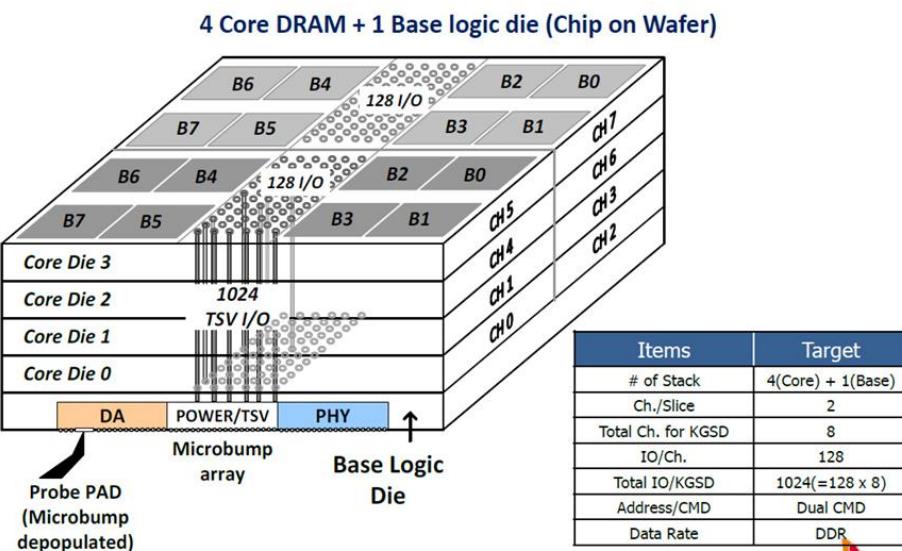


圖 13. SK Hynix(海力士)HBM 架構

SK Hynix (海力士)2019 已開發出具有業界最高頻寬的 HBM2E DRAM 產品[13] 具有 8 顆 16Gbit 裸 die 堆疊，傳輸速率為 3.6 Gbps，搭配 1024-bit，支持提供超過 460GB/s 的超高頻寬，形成 16GB 數據容量的單一封裝，與之前的 HBM2 相比，HBM2E 大約提升 50% 頻寬和 100% 容量，將於 2020 年量產。

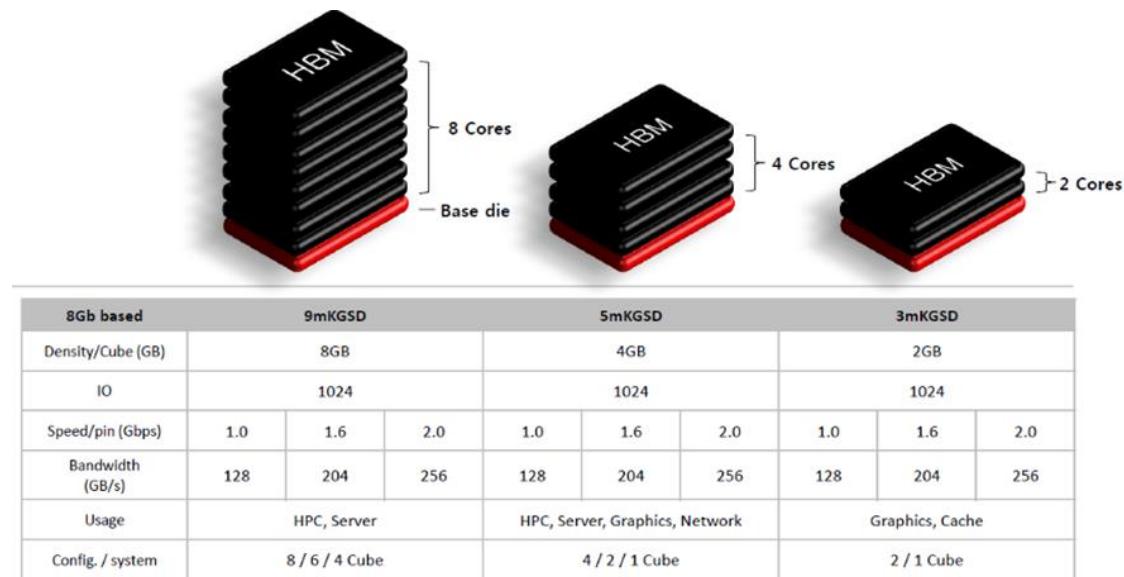


圖 14. SK Hynix (海力士)HBM 產品

2016 年 1 月，Samsung 宣布進入量產 HBM2 階段，每顆高達 8GB 記憶體。2019 年，Samsung 量產產品為 Flashbolt HBM2E[14]，基於八顆 16-Gb 裸晶，並使用 TSV(通過矽通孔)以 8-Hi(4 dram die + 1 base logic die)配置進行堆疊互連。每個 Flashbolt 封裝具有 1024-bit，每 bit 資料傳輸速率為 3.2 Gbps，因此每個 KGSD(Known Good Stacked Die)將可提供高達 410GB/s 的頻寬。三星將其 Flashbolt KGSD 瞄準下一代數據中心、HPC、AI/ML 和圖形應用晶片。開發人員可獲得具有 1.64TB/s 峰值頻寬的 64GB 內存，這對於容量和頻寬需求大的晶片來說將是很大的優勢。使用兩個 KGSD，將可獲得 32GB DRAM，峰值頻寬可達 820GB/s。

|                              | Flashbolt | Aquabolt   | Flarebolt |            |          |          |
|------------------------------|-----------|------------|-----------|------------|----------|----------|
| Total Capacity               | 16 GB     | 8 GB       | 8 GB      | 4 GB       | 8 GB     | 4 GB     |
| Bandwidth Per Pin            | 3.2 Gb/s  | 2.4 Gb/s   | 2 Gb/s    | 2 Gb/s     | 1.6 Gb/s | 1.6 Gb/s |
| Number of DRAM ICs per Stack | 8         | 8          | 8         | 4          | 8        | 4        |
| DRAM IC Process Technology   | ?         | 20 nm      |           |            |          |          |
| Effective Bus Width          | 1024-bit  |            |           |            |          |          |
| Voltage                      | ?         | 1.2 V      | 1.35 V    | 1.2 V      |          |          |
| Bandwidth per Stack          | 410 GB/s  | 307.2 GB/s | 256 GB/s  | 204.8 GB/s |          |          |

圖 15. Samsung(三星)HBM2 產品

2019 年底 Samsung 成功開發出了全球首顆 12 層 3D-TSV 砂穿孔封裝技術，可垂直堆疊連接 12 層 DRAM 裸晶，每層 DRAM 晶片的厚度約為紙張厚度的一半，同時需要在厚度 720um 晶片上打 60000 個 TSV 孔(尺寸僅為頭髮 1/20)，並保持與現有 8 層 HBM2 產品相同封裝厚度(720um)，單片容量也從目前 8GB 提升至 24GB。

但是，現今 HBM2E 還不足以滿足未來的頻寬需求，新的 DRAM 技術：HBM3、HBM4、甚至 3D DRAM 技術，將不斷演進，而進階到真 3DS (three die stacked) DRAM 也將持續研究發展中（圖 16）。

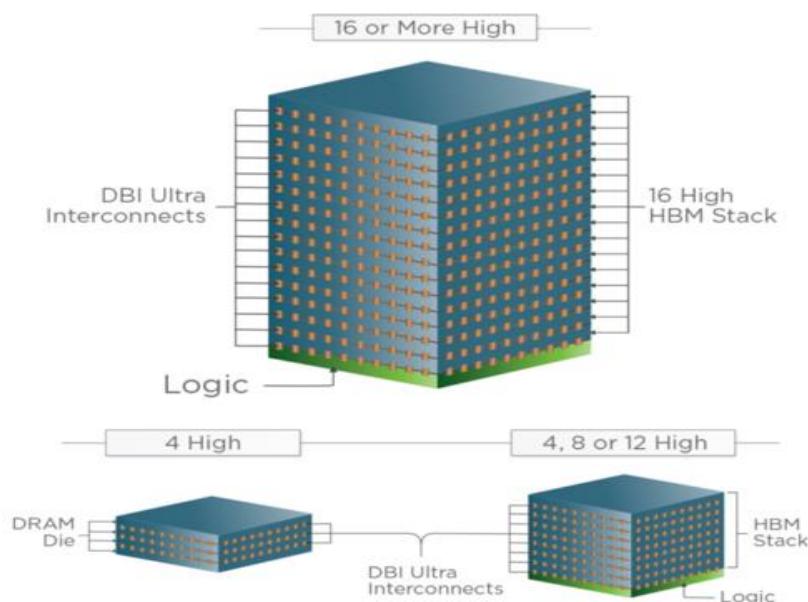


圖 16. 下世代 HBM 與 3D DRAM

### 4.2.3. 5th Generation Communication System

#### 4.2.3.1. Overview

現行開發中的無線通訊技術中，第五代通訊系統(5G)為時下最熱門的候選人。因其有著高頻寬、高傳輸速率與低功耗等優勢，該技術正蓬勃發展著。由於，5G 技術可以透過新型陣列天線技術(MIMO)針對訊號指定區域進行波束成形(Beamforming)傳送無線訊號。利用波束成型技術，可以降低傳送非必要區域訊號的能量浪費，使資料傳輸過程更有效率且節能。

#### 4.2.3.2. Dimensity 1000 chipset

我們希望無人機可以傳送即時的資訊並且降低傳送訊號所需要消耗的功率。因此，透過 5G 技術中的高頻寬(Highly Bandwidth)傳輸與波束成型(Beamforming)技術便可以達成即時傳送影像、無人機定位與環境點雲資訊至雲端伺服器等任務。本設計採用的 5G 晶片為聯發科技設計之天璣 1000 (Dimensity 1000) 傳輸晶片，如圖 17。其詳細規格表如表 5，透過此晶片的傳輸介面，可以提供高達 2.3Gbps 的傳輸速率，如此的傳輸頻寬足以應付我們所需要傳輸的探勘資料量。



圖 17. 天璣 1000 外觀與傳輸速率 [12]

表 5. Dimensity 1000 Specification [12]

| SoC              | Dimensity 1000   |
|------------------|--|
| CPU              | 4x Cortex A77 @ 2.6GHz / 4x Cortex A55 @ 2.0GHz  |
| GPU              | Mali-G77MP9  |
| APU              | 3rd gen APU: 2 "big" + 3 "small" + 1 "tiny" / 4.5TOPs total perf   |
| Memory           | 4x 16b LPDDR4x   |
| ISP/Camera       | 80MP, 32MP + 16MP  |
| Encode/Decode    | 2160p60 H.264 & HEVC & AV1 (Decode)  |
| Integrated Modem | 5G Sub-6<br>DL=4600Mbps 200MHz 2CA, 256-QAM, 4x4 MIMO<br>UL=2500Mbps 200MHz 2CA, 256-QAM, 2x2 MIMO<br>LTE Category 19 DL |
| Connectivity     | WiFi 6 (802.11ax) + Bluetooth 5.1 + Dual Band GNSS   |
| Mfc. Process     | N7   |

本設計在實現探勘過程中的傳輸資料主要為影片、環境點雲訊號與 SLAM 資訊。其中影片需要的傳輸速率為 220MB/s(48op)，而環境點雲與 SLAM 資訊傳輸速率總共約為 20MB/s。因此，採用天璣 1000 這個晶片主要是因為它提供了 5G 最多的頻寬外該晶片為同業中功耗最少頻寬最高之 5G 系統型晶片。因此，本設計選擇天璣 1000 作為主要應用。如此一來，在使用者端可以即時性的與無人機探勘進度進行同步，當電腦無法辨識出來的東西人類也可以進一步確認。

#### 4.2.4. LiDAR

##### 4.2.4.1. What is LiDAR

LiDAR 的全名是 Light Detection and Ranging。LiDAR 的主要功能是發出雷射光，同時接收物體反射的雷射光。這些反射會被接收後，以點雲(Point Cloud)方式表示，可以是 3D 型式圖 18 或是 2D 型式。

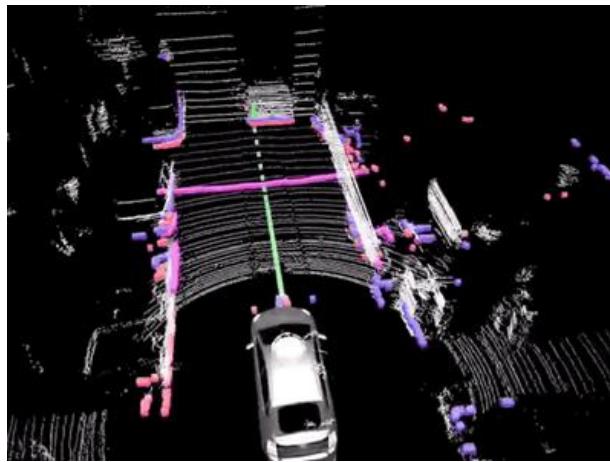


圖 18. 在模擬器中，自駕車 3D LiDAR 的感知呈現

##### 4.2.4.2. Measurement Principle of LiDAR

LiDAR 系統量測深度距離的方式有二種，(1) Pulsed Approach，即 TOF (2) Continuous Wave，從圖 20 的示意來看，即透過發射時間和反射接收時間差，來計算深度。 $R=1/2 * c * tof$ ，C 為光速。

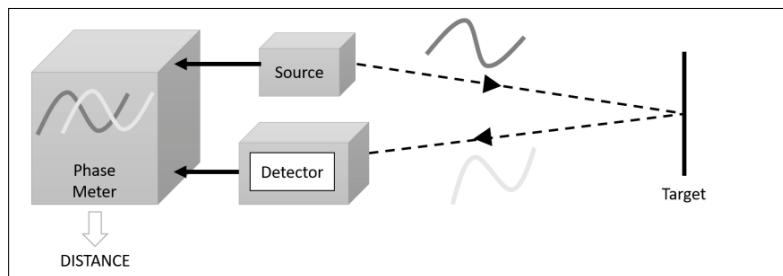


圖 19. AMCW，基於 TOF 的概念，而時間差計算是使用相位差

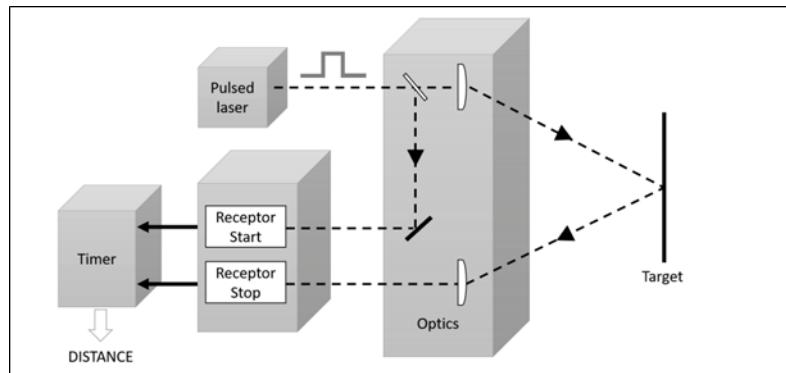


圖 20. Pulsed Time-of-Flight (TOF) measurement principle

#### 4.2.4.3. Types of LiDAR

LiDAR 因其結構不同，主要可分成 2 種：

(1) 機械式 LiDAR

(2) 固態 LiDAR (包括 MEMS · OPA)

機械式 LiDAR 是最早開始的架構，也是目前最成熟可量產的架構。知名車用 LiDAR 廠商

Velodyne 即是使用機械式架構，

圖 22 即為機械式 LiDAR 的架構示意。

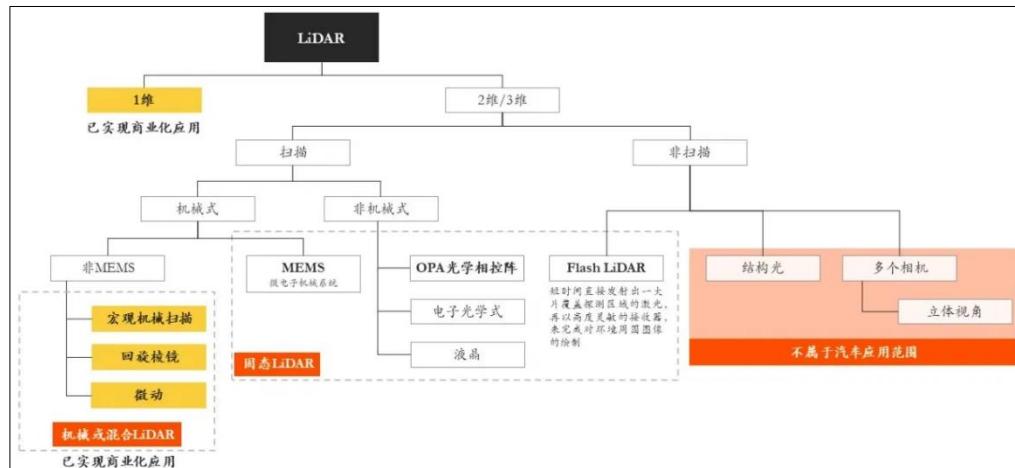


圖 21. LiDAR 技術分類

機械式 LiDAR 的架構原理主要是使用馬達驅動，帶動實體鏡子轉動，將雷射光反射。市面常見 LiDAR 的規格如 32 線、64 線等規格，主要是利用分時多工的概念達到。機械式 LiDAR 的最主要優點是掃描頻率快，一發一收架構下，抗光干擾容易解決，但也因其機械結構，不容易做小，且有機械損耗造成可

靠性問題的疑慮。另外，機械式 LiDAR 仍有價格昂貴的問題，以 Velodyne HDL-64E 為例，價格為 7.5 萬美金。

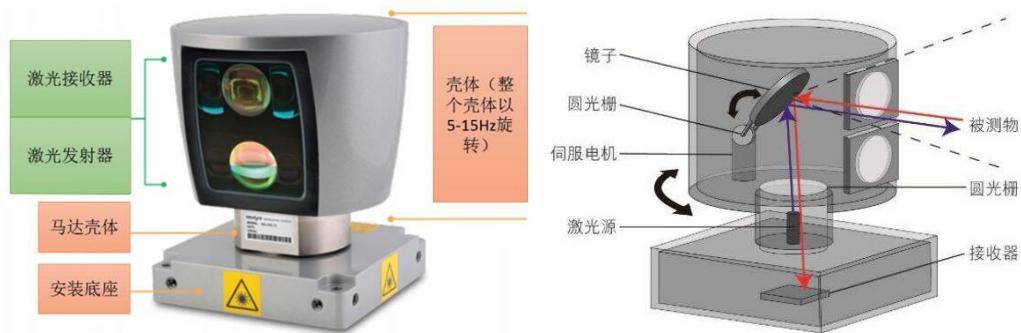


圖 22. 機械式 LiDAR 架構

表 6. 光達技術規格大比拏[48]

|                 | 規格  | HDL-64E   | HDL-32E  | Puck(VLP-16)   | Puck Lite(VLP-16 LW) |
|-----------------|---|---|--|--|----------------------|
| <b>Velodyne</b> | 售價  | 7.5萬美元  | 4萬美元   | 3,999美元  | -                    |
| 特點              | 性能佳、價格貴   | 體積更小、更輕   | 適用於無人機   | 適用於無人機   |                      |
| 激光器數            | 64  | 32  | 16   | 16   |                      |
| 尺寸              | 215mm x 283mm                                     | 85mm x 144mm                                      | 103mm x 72mm   | 103mm x 72mm   |                      |
| 重量              | 12.7KG  | 1.0KG   | 830g   | 590g   |                      |
| 激光波長            | 905nm   | 905nm   | 905nm  | 905nm  |                      |
| 水平視野            | 360°<br>26.9°                                     | 360°<br>40°                                       | 360°<br>30°  | 360°<br>30°  |                      |
| 垂直視野            | (+2°~ -24.6°)<br>130萬點/秒(single)<br>220萬點/秒(dual) | (+10°~ -30°)<br>69.5萬點/秒(single)<br>135萬點/秒(dual) | (+15.0° to -15.0°)<br>30萬點/秒 (single)<br>60萬點/秒 (dual) | (+15.0° to -15.0°)<br>30萬點/秒 (single)<br>60萬點/秒 (dual) |                      |
| 測量範圍            | 120M  | 100M  | 100M   | 100M   |                      |
| 距離精度            | < 2cm   | ± 2cm   | ± 3cm  | ± 3cm  |                      |
| 垂直分辨率           | 0.4°  | 1.33°   | 2.0°   | 2.0°   |                      |
| 水平分辨率           | 0.08°-0.35°                                       | 0.1°-0.4°   | 0.1°-0.4°  | 0.1°-0.4°  |                      |
| 防護標準            | IP67  | IP67  | -  | -  |                      |
|                 |   |   |  |  |                      |

價格及能否大量生產是普及的重要因素。在自駕車的趨勢趨動下，有機會做到價格便宜的固態 LiDAR 技術也正在發展，其中，日本 Pioneer 發展的是使用 MEMS mirror 的固態式 LiDAR。



圖 23. Pioneer MEMS LiDAR

MEMS LiDAR 的架構中，使用 MEMS mirror 來代機械式 LiDAR 的轉動結構及實體反射鏡。因 MEMS 特性緣故，容易達到較低功耗。下圖為 MEMS LiDAR 工作原理。

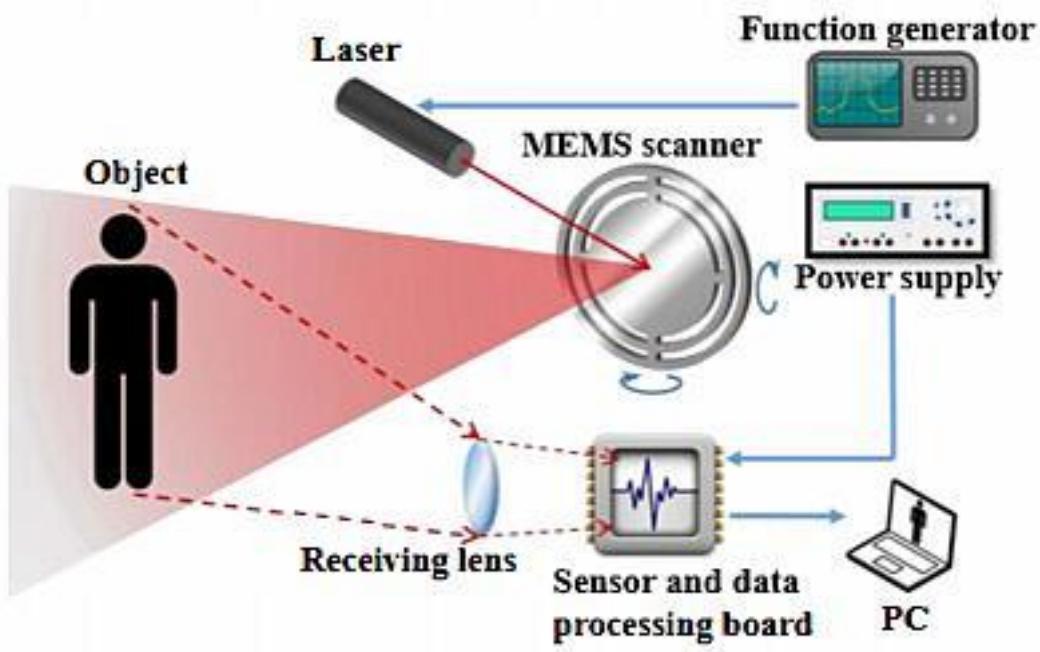


圖 24. MEMS LiDAR 工作原理

#### 4.2.5. SLAM

同步定位和地圖構建(**Simultaneous Localization And Mapping**)是自主導航的關鍵技術，希望當設備(如:機器人、無人機、VR 設備等)從未知環境的未知地點出發，在運動過程中通過重複觀測現場地域特徵(如:洞穴中的岩石、突起物等)，來定位自身位置和姿態，再根據自身位置增量式的建構地圖，以達到同時定位和地圖構建目的。可廣泛用於自動駕駛汽車、機器人、虛擬實境和增強現實等應用中。

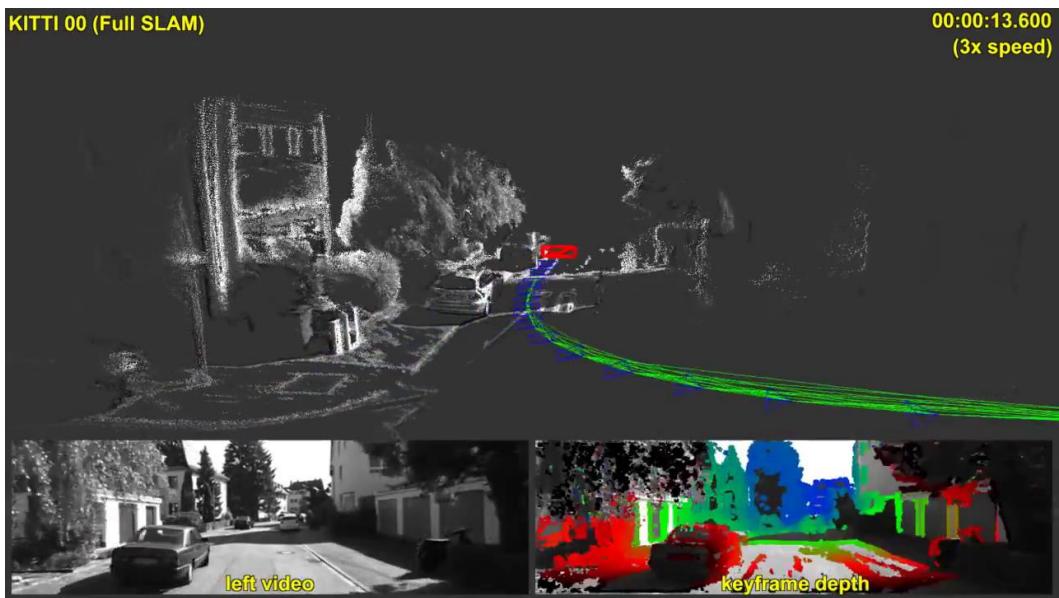


圖 25. SLAM 同步定位和地圖構建

SLAM 與 GPS 技術差異在於：目前地圖類 App 採用 GPS 在室外定位、導航方面確實做的很好，也衍生出很多基於地理位置的遊戲、社交、生活類應用，但

(1) 民用 GPS 最多僅能達到幾米的定位精度

(2) GPS 只能在室外使用。而在建築物內、洞穴、海底等很多地方，GPS 會失效。

而往往這些地方對於定位需求很強烈，因此要想解決 GPS 失效區域的定位，目前最有效的就是 SLAM 技術。

SLAM 演算法包含三個主要部分：追蹤(Tracking)、地圖構建(Mapping)和循環偵測(Loop Closing)。

(1) 追蹤(Tracking)：估計攝影機的位置和方向；必須即時反應，以支持高幀速率(例如 30FPS 或 60FPS)。很大程度上取決於定點操作進行圖像處理、特徵檢測、描述和匹配，將新 frame 與參考 frame 中的特徵(邊緣、障礙物)進行比較。

(2) 地圖構建(Mapping)：估計特徵點的 3D 位置；如果機器人(設備)移動或場景發生變化，需要在地圖上添加點，並且優化現有點。此時計算不必太即時，不一定是每 frame，大部分都是使用浮點數據類型的轉換(線性代數)。

(3) 循環偵測(Loop Closing)：返回到之前的位置，並從地圖構建中顯示出同一位置；計算上代價很高，因此會採取概率性計算，也代表存在歧義和錯誤檢測，因此需搭配進行偵錯以減少錯誤並優化整體地圖。此階段也依賴浮點計算。

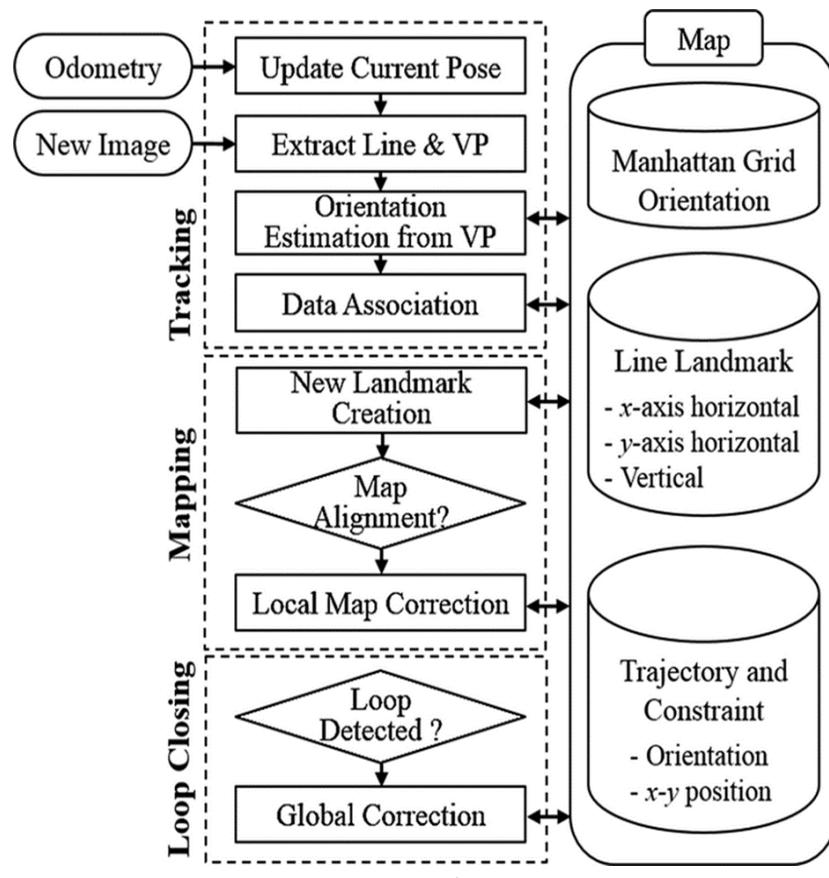


圖 26. SLAM 演算法流程

LSD-SLAM(Large-Scale Direct Monocular SLAM)演算法圖 27，特色在於不需要計算特徵點，利用圖像亮度來進行跟蹤和建圖，從而實現稠密 3D 重建。

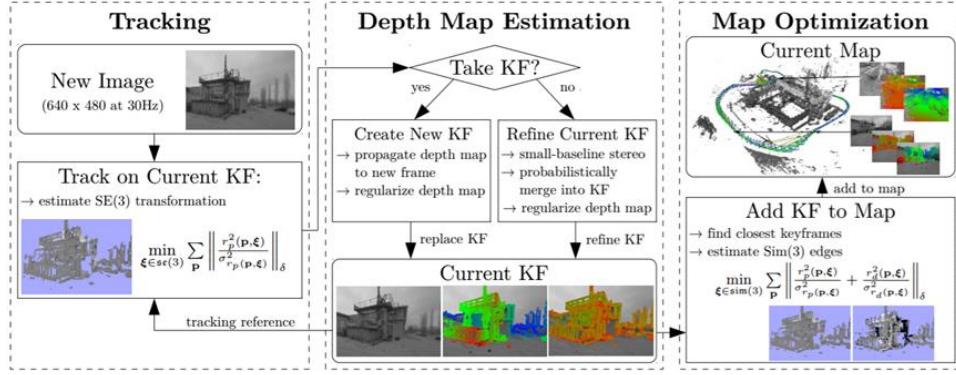


圖 27. LSD-SLAM 演算法流程

其他比較常見 SLAM 演算法比較如表 7，可以觀察到 ORB-SLAM 使用 ORB 特徵進行跟蹤、建圖、重定位和循環偵測。RatSLAM 則從腦神經處理獲得靈感實現導航，來給定單目圖像和里程訊息，並根據外觀匹配場景並構建拓撲圖。

表 7. SLAM 演算法比較

| Algorithm | Core estimated values   | Map type   | Used information   | Main contribution   | Assumptions  |
|-----------|---|--|--|---|--|
| ORB-SLAM  | <ul style="list-style-type: none"> <li>camera transformation (by feature matching error minimization);</li> <li>3D feature position;</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>cloud of ORB features;</li> <li>keyframe graph;</li> </ul>  | RGB image  | <ul style="list-style-type: none"> <li>usage of ORB as environment features;</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>robot movement between 2 consecutive frames is relatively small.</li> </ul> |
| RatSLAM   | <ul style="list-style-type: none"> <li>robot position and orientation (by Pose Cell Network);</li> <li>visual odometry (optionally);</li> </ul>                       | <p><i>Graph:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>vertex</i> – position of the unique visual experience;</li> <li><i>edge</i> – distance and travel time between vertices;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>RGB image;</li> <li>odometry;</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>first biological-inspired SLAM;</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>excitatory links weight matrix has Gaussian distribution.</li> </ul>        |
| LSD-SLAM  | <ul style="list-style-type: none"> <li>camera transformation (by photometric error minimization);</li> <li>inverse depth map (by pixelwise Kalman Filter);</li> </ul> | <p><i>Graph:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>vertex</i> – keyframe (image + depth map);</li> <li><i>edge</i> – constraint (scale-aware transformation);</li> </ul>               | RGB image  | <ul style="list-style-type: none"> <li>tracking structure of environment;</li> <li>monocular camera is the only sensor;</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>inverse depth is Gaussian;</li> <li>noises are Gaussian;</li> </ul>         |
| L-SLAM    | <ul style="list-style-type: none"> <li>orientation (by Particle Filter);</li> <li>robot and feature position (by Kalman Filter);</li> </ul>                           | cloud of features  | <ul style="list-style-type: none"> <li>odometry;</li> <li>extracted features;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>one-dimension particle filter;</li> <li>derivation of linear model;</li> <li>Kalman Smoothing to refine previous estimations;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>sensor noise is low;</li> <li>noises are Gaussian;</li> </ul>               |

用在 SLAM 上的傳感器主要分兩大類：雷達 (Radar)/光達 (LiDAR) 和視覺(Camera)，因此，也將 SLAM 分為雷達/光達 SLAM 和視覺 SLAM 兩大類別。其中雷達/光達 SLAM 可以是雷達、激光雷達、超音波雷達、紅外線雷達等距離感測器，若採用激光雷達 (LiDAR) 作為傳感器，其優點是精度高，解決方案相對成熟。但是缺點也非常明顯，比如價格貴、體積大、訊息少、不夠直觀等等。

視覺 SLAM 則是用攝影機(RGB)或深度攝影機(RGBD)作為主傳感器，透過拍攝視訊資料作為輸入，來實現同時定位與建圖。由於體積小、功耗低、使用壽命長、成本合宜，視覺 SLAM 廣泛應用於 AR、自動駕駛、智能機器人、無人機等領域。

SLAM 對即時性要求比較高，而要做到比較精確、穩定、可靠、適合多種場景的方案，一般計算量相對較大，目前移動式裝置的計算能力還不足夠支撐這麼大的計算量，為了達到實時效能，往往需要在精確度和穩定性上做些犧牲。因此在具體的應用中，往往需要根據移動裝置所具有的感測器組合、計算能力、使用者場景等，選擇和深度定製合適的 SLAM 演算法。

表 8. LiDAR SLAM 與 Visual SLAM 比較

| 技術          | 優勢                          | 劣勢  | 開發難度 | 成本 | 其他          |
|-------------|-----------------------------|---|------|----|-------------|
| LiDAR SLAM  | 定位構圖精度高<br>路線規劃簡單<br>累計誤差較小 | 壽命問題(1000h 每天使用約兩年更換)、成本高、受 LiDAR 探測範圍限制    | 較低   | 高  | 地圖缺乏語意(後處理) |
| Visual SLAM | 體積小、功耗低、<br>使用壽命長、安裝方式多元    | 數據量大、對處理器有更高性能需求、受光照影響大、高動態環境精度下降、對場景複雜度要求高 | 高    | 低  | 具語意訊息       |

由於需要達到 30 或 60 FPS 快速圖像處理和定點數學運算、大量線性代數以及更密集的浮點數學運算。在 CPU/GPU 中執行此操作，運算量相當大，非常耗電。常見的 DSP 雖適合此類圖像處理，但由於 SLAM 演算法的計算複雜度相當高，DSP 並不是 SLAM 最佳解決方案，需專用 FPGA 或 SLAM ASIC 才有辦法滿足。

首爾大學[15]提出一種基於節省功耗的高效架構，基於即時 ORB(Oriented-FAST 和 Rotated-BRIED)可視 SLAM，通過加速最耗時的特徵提取階段來構建系統，此外，針對原始 ORB 描述模式以一種旋轉對稱的方式進行了重構，對硬體更加有利。並進一步利用優化，包括重新調度和平行化等，來提高吞吐量並減少內存佔用。與 TUM 數據集上的 Intel i7 和 ARM Cortex-A9 CPU 相比，透過 FPGA 實現可將 frame rate 提高 3 倍和 31 倍，並將能效提昇 71 倍和 25 倍。

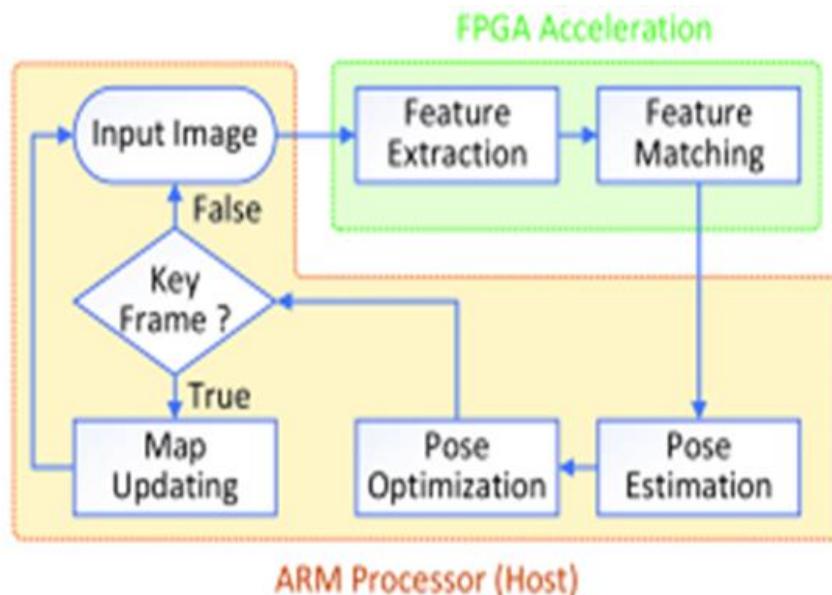


圖 28. 透過 FPGA 加速特徵提取及比對

密西根大學[16]提出 SLAM 前端專用晶片，實現特徵萃取以及通過追蹤特徵來計算距離。晶片的核心包括：基於 CNN-SLAM(Triplet)演算法檢測特徵，設計上近似 CNN 加速器。除了特徵萃取，在 SLAM 中的特徵點追蹤核心功能中，為解決各種線性方程式，設計了優化 Perspective-n-Point (PnP) 演算法的專用硬體；由於兩個演算法皆改為硬體加速，因此，該晶片僅用 240mW，就可以即時處理每秒 80 frame 資料，相較於 Nvidia Jetson TX 系列耗費瓦級功耗要小的多。

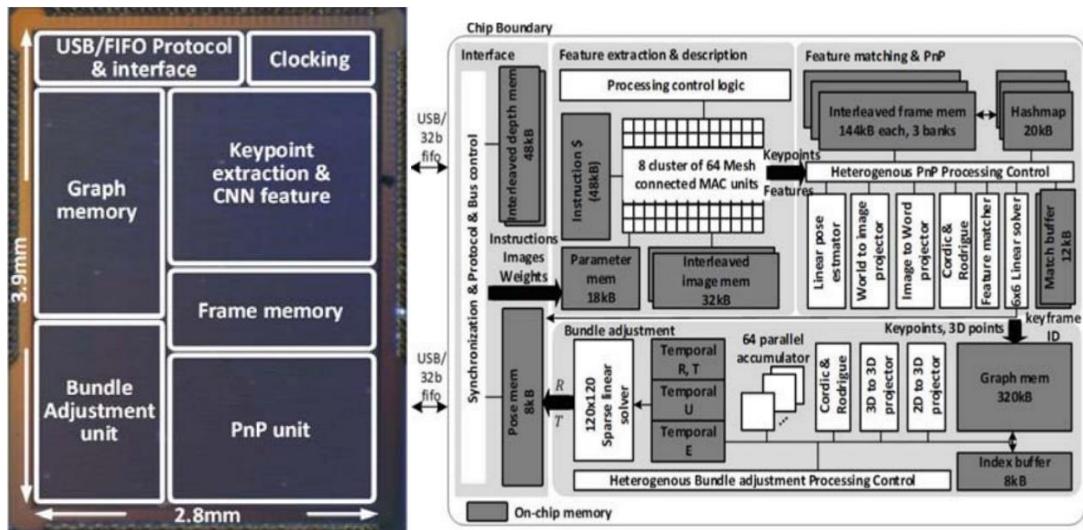


圖 29. An 243mW 80fps VGA Fully Visual CNN-SLAM Processor

根據 Global Market Insights 最新報告，全球同步定位和地圖構建(SLAM)技術市場將超過 20 億美元，預估從 2018 年到 2024 年，複合年增長率將超過 71%，我們考量此一趨勢及硬體化需求，預計將 SLAM 演算法進行硬體加速以成為 ASIC，滿足低功耗目標，並搭配 UAV 以達成即時運算。

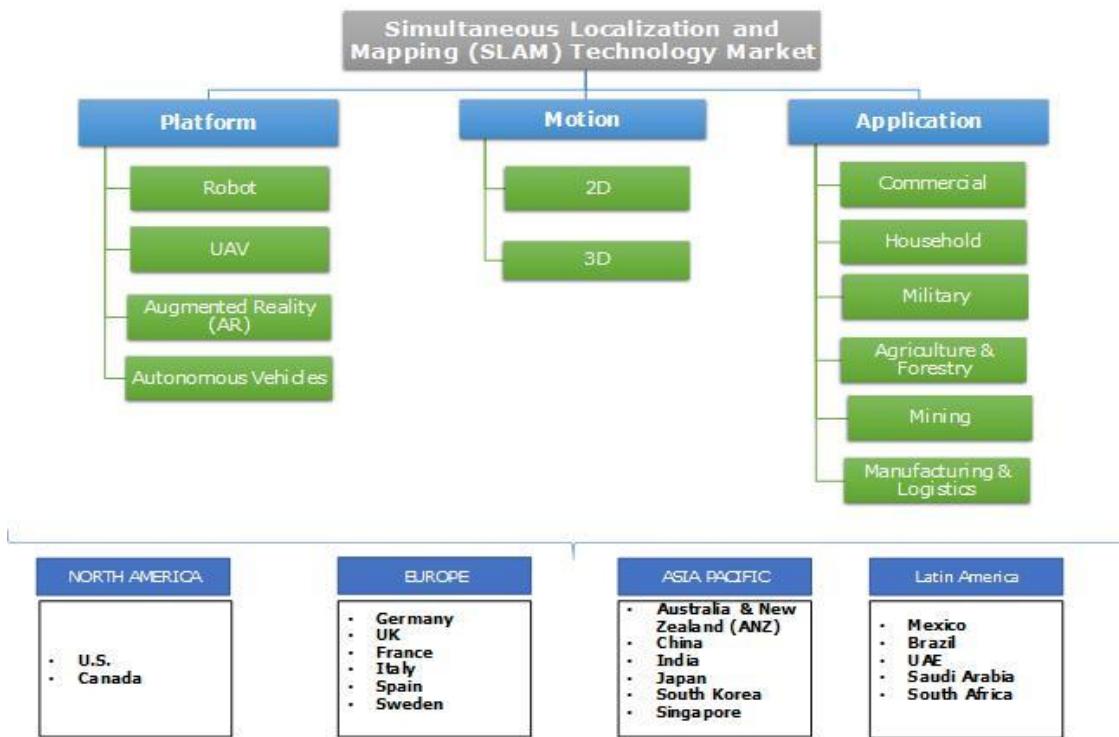


圖 30. SLAM 技術需求及市場

#### 4.2.6. Structure-from-Motion

##### 4.2.6.1. What is Structure-from-Motion

Structure-from-Motion SfM 圖 31 是一種利用多張連續影像，重建出三維模型的技術。基本概念是將同一個物體，以多個角度觀看後(multiple views)，用三角定位的方式，重建出物體的三維樣貌，且不需預先知道相機本身的 calibration 及 pose 姿態。相機的校正 calibration 及姿態參數是透過即時運算各個點在每個觀看視角取得的場景中對應。

上述各個點在每個場景中的對應計算方式說明如下：

- (1) 在  $m$  個照片中，選定  $n$  個點  $u_{ij}$ ， $i \in \{1 \dots m\}$ ， $j \in \{1 \dots n\}$
- (2) 找到 projection matrices  $P_1 \dots P_m$ ，及 consistent structure  $X_1 \dots X_n$ .

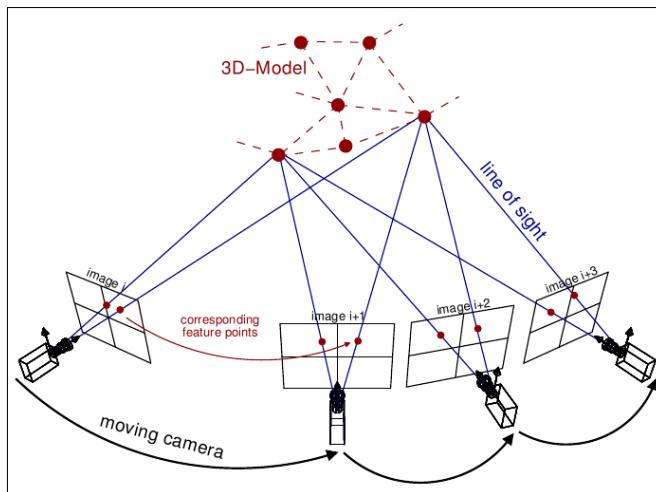


圖 31. Structure-from-Motion photogram metric principle [52]

##### 4.2.6.2. The process of SfM Implementation

SfM 計算的流程包括：

- (1) data preprocessing
- (2) feature extraction
- (3) image matching
- (4) estimate fundamental matrix
- (5) camera calibration

## (6) bundle adjustment

整體流程如圖 32 中所示，

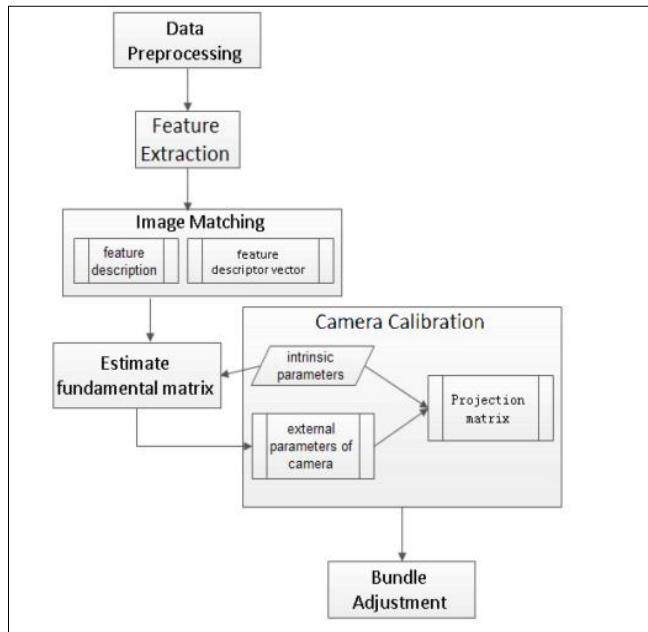


圖 32. The Process of SfM Implementation

### 4.2.6.2.1. Data Preprocessing

SfM 的特點是不需依靠 pre-knowledge(即預先知道相機的拍照姿勢及內外校正參數等)，而是藉由對大量連續照片的相互運算找出校正關係，因需要大量計算的緣故，所以在近來算力及儲存成本大幅降低後才具可行性。在前處理中，Denoise 影像降噪是通常會執行的方式之一。此外，連續的影像會有重覆的問題，通常會使用以下方式進行移除重覆照片並找到可用連續照片的集合。

- (1) 估算任二張重疊照片中的位置變異數(position covariance)，找出兩兩照片的空間對應關係。
- (2) 依對應關係，建出關係樹 (skeletal subset)
- (3) 依序加入其他照片，使用 shortest path 相關演算法，移除重覆的照片

### 4.2.6.2.2. Feature Extraction

Feature Extraction 特徵擷取及 Image Matching 影像匹配 是 SfM 運算中

重要的基礎，概念是找到二張含有相同物體的照片中，關鍵的特徵點，再進行影像匹配。

傳統 Computer Vision 方法，如 SIFT，SURF 會用來找影像特徵點。以 SIFT 來說，它可以生產的特徵點會以 128 維到 36 維的向量表示。但這對大規模的 3D 重建工作來說，仍是一個相當巨大的數量，另一個方式為使用 BRISK 來降低特徵點描述的資料量。

BRISK 特徵點鄰域的採樣模式如圖 33 所示，以特徵點為中心，構建不同半徑的同心圓，在每個圓上獲取一定數目的等間隔採樣點，所有採樣點包括特徵點一共有 N 個。

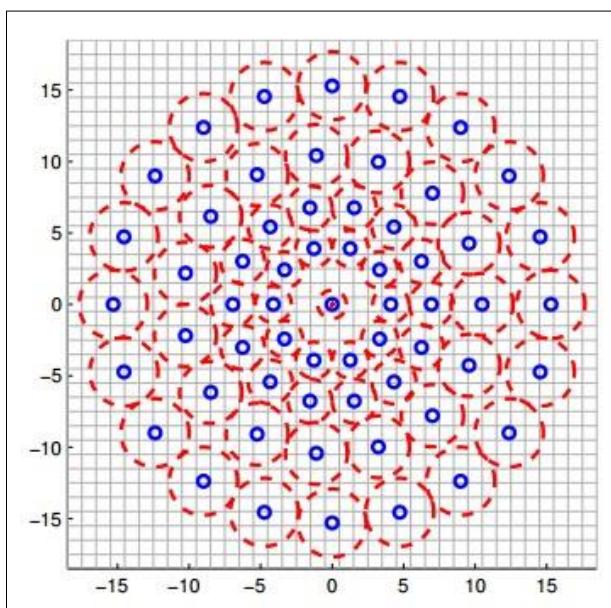


圖 33. BRISK Sampling Pattern

#### 4.2.6.2.1. Image Matching

圖像匹配的時間複雜度由兩個方面決定：一方面是相似度比較的時間複雜度，另一方面是搜索的時間複雜度。為了減少時間複雜度，我們常會以創建一個 kd 樹來組織特徵集，並使用 KNN (K 最近鄰) 算法來加快匹配過程。

#### 4.2.6.2.2. Estimate Fundamental Matrix

Fundamental Matrix 的估算通常使用 RANSAC 方法(RANdom SAmple Consensus). RANSAC 的基本假設是

- (1) 「內群」數據可以通過幾組模型的參數來敘述其分布，而「離群」數據則是不適合模型化的數據.
- (2) 數據會受雜訊影響，雜訊指的是離群，例如從極端的雜訊或錯誤解釋有關數據的測量或不正確的假設.
- (3) RANSAC 假定，給定一組(通常很小)的內群，存在一個程序，這個程序可以估算最佳解釋或最適用於這一數據模型的參數.

#### 4.2.6.2.3. Camera Calibration

相機校準的目標是確定圖像坐標與世界坐標之間的關係，如圖 34 所示。

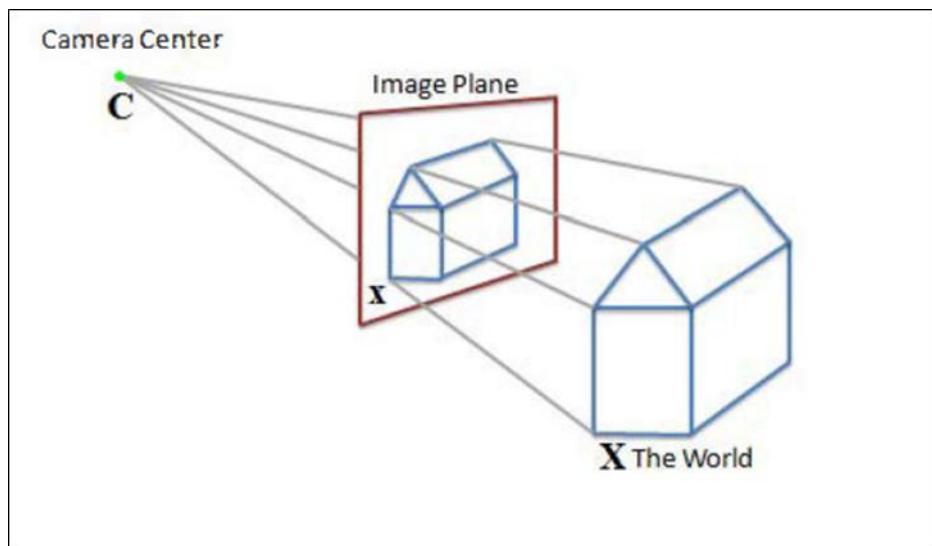


圖 34. PIN-HOLE MODEL 相機，成像和物理世界的關係

如果我們把 point  $X$  在物理世界的座標為  $(X, Y, Z)$ ，而對應在成像面上的點為 point  $x$ ，其在 Camera 座標系的座標為  $(x, y)$ ，可定義轉換關係如下，其中  $f$  參數為 camera focal length， $R$  為 rotation matrix， $T$  為 translation matrix.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix}$$

#### 4.2.6.2.4. Bundle Adjustment

Bundle adjustment 是 SfM 的重要關鍵技術，其作用是降低 SfM 過程的投影誤差。

#### 4.2.6.3. Open Source Software for SfM

OpenSfM，網址為 <https://github.com/mapillary/OpenSfM>

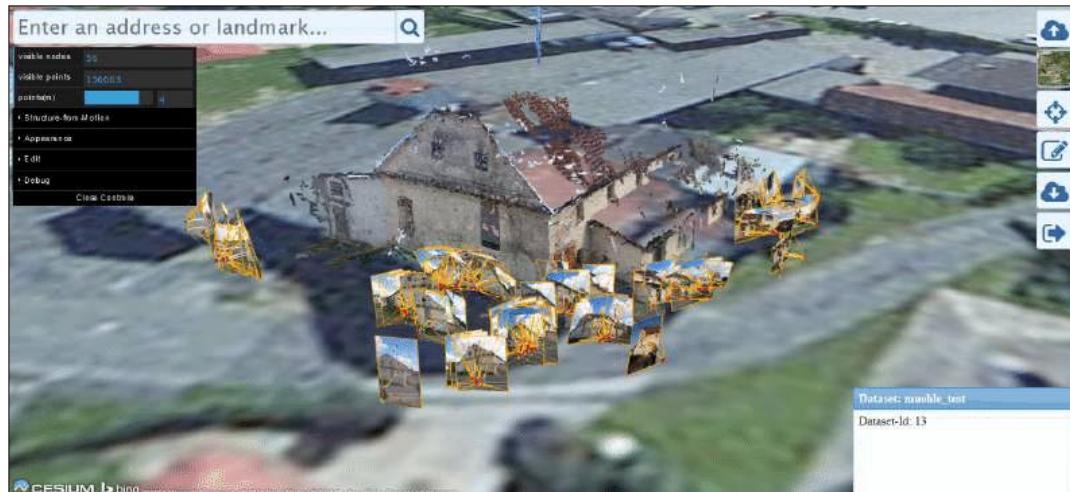


圖 35. OpenSfM[53]

#### 4.2.6.4. SfM 的應用情境

SfM 的特點是只透過使用 Camera 取樣拍照，即可進行 3D 建模，且可以達到公分等級的建模精度，這個技術已廣泛應用在無人機空拍測繪領域。市場上主流的商業用無人機測繪軟體有以下，

- (1) DroneDeploy <https://www.dronedeploy.com/>

(2) Pix4D <https://www.pix4d.com/>

(3) ContextCapture

<https://www.bentley.com/zh/products/brands/contextcapture>

在救災應用上，則是可以協助救災人員快速了解未知地形及環境全貌，和以 LiDAR 進行的建模技術不同的是，SfM 因使用 Camera 技術，所以可以呈現物體顏色及紋理，如同人眼看到的物理世界；而 LiDAR 只能呈現亮度點雲，對救災應用來說，是難以判斷是什麼物體。圖 36 是 Pix4D 進行場域建模評估並用來救災領域的情境。

在本系統應用上，SfM 可執行在邊緣運算服務器上，進行場域 3D 建模。

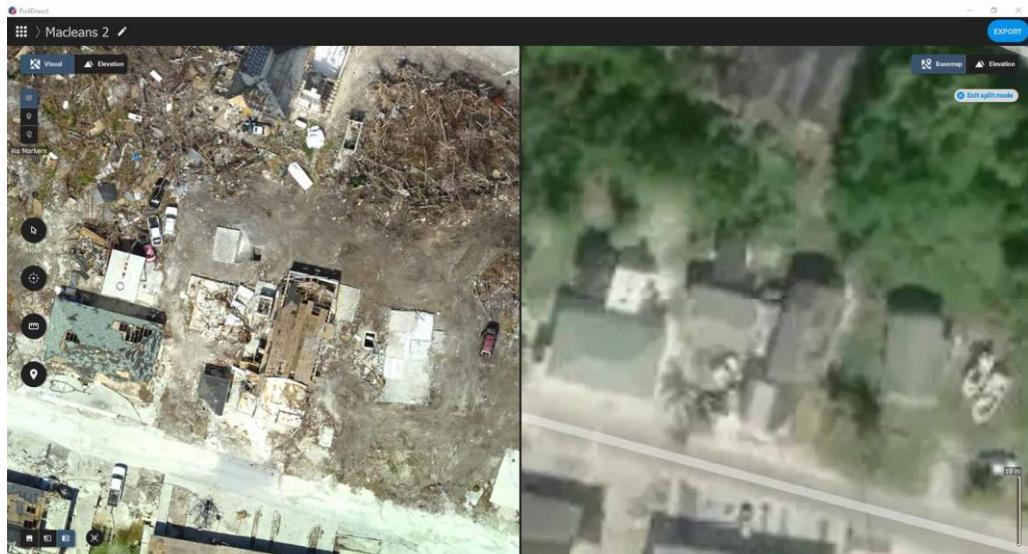


圖 36. Hurricane Dorian 後的災難救援應用[54]

#### 4.2.7. AI Algorithm

我們使用電腦視覺的方式進行無人機的避障以及路徑追蹤。圖 37 是系統架構圖

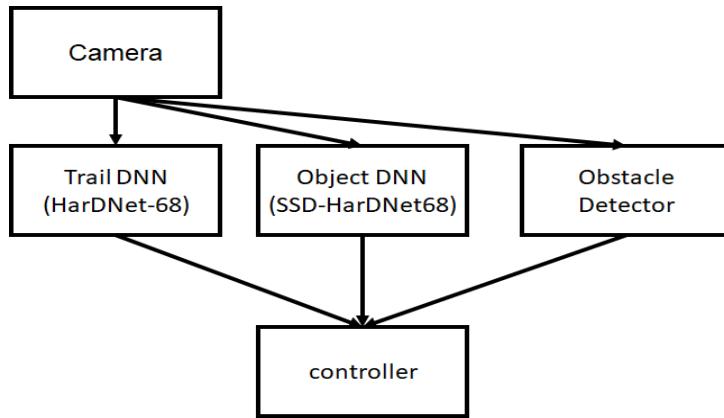


圖 37. 整體系統架構圖

可以看到當影像進來我會分成三個節點做運算分別是 Trail DNN(用於估計無人機相對於軌跡的横向偏移和視圖方向), Object DNN(用於辨識物件位置避免無人機的與物件的碰撞), Obstacle Detector(針對沒看過的障礙物，主要是執行 Monocular SLAM)。其中的 Trail DNN 和 Object DNN 都是 CNN based 的演算法於是我們使用目前 state-of-the-art 的 CNN 網路結構，來自清大林永隆教授實驗室的 HarDNet: a low memory traffic network。HarDNet 發想自 CVPR 2017 年的 DenseNet，藉由網路結構上的改進來降低 inference 過程中的 DRAM traffic 來達到更快速、更有效率的運算。

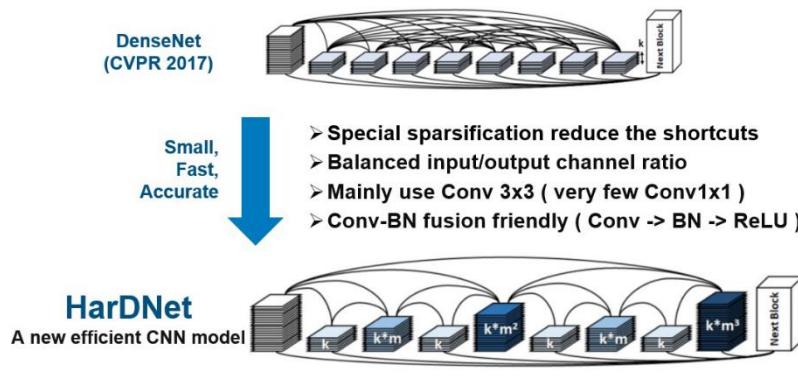


圖 38. HarDNet 架構圖

Trail DNN 的部分就像是一般 Classification 的網路可以直接使用 HarDNet68 · 而 Object DNN 使用的是 SSD-HarDNet68 · 我們將 SSD-VGG16 的骨幹網路換成 HarDNet68 整體的效能可以超越目前 state-of-the-art 圖 39 是 SSD-HarDNet68 的結構圖和在 MS-COCO 資料集上的效能比較如圖 40 。

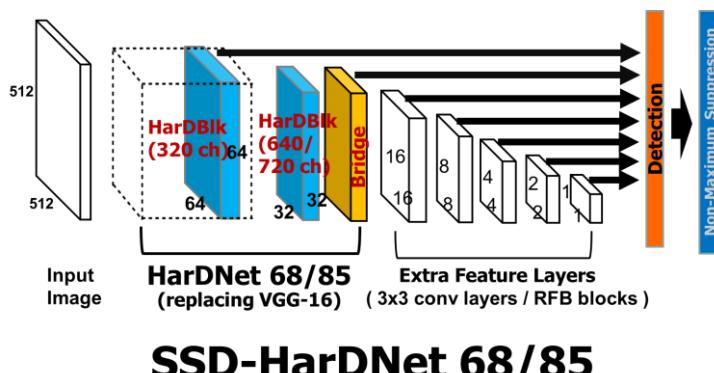


圖 39. SSD-HarDNet 架構圖

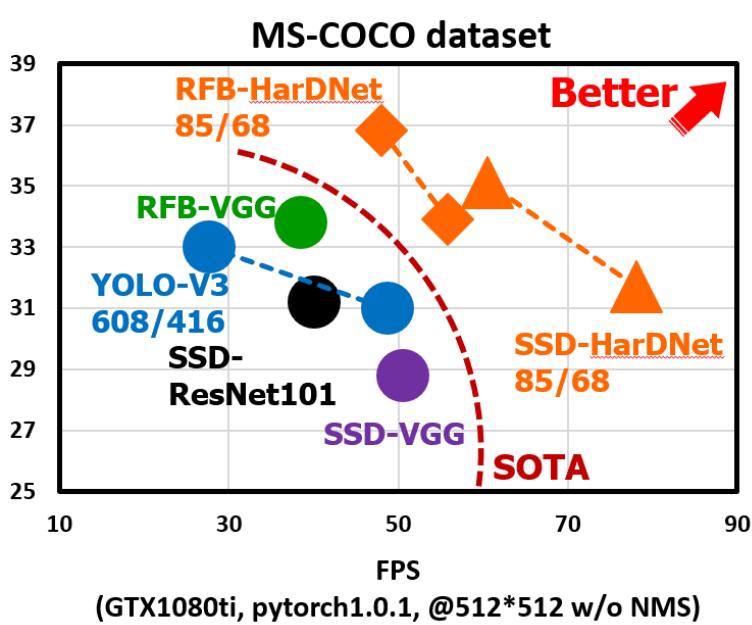


圖 40. Object Detection Landscape

藉由在 Trail DNN, Object DNN 引入 HarDNet 這樣相對 hardware-friendly 的 CNN , 可以讓整個無人機的避障飛行達到即時的標準同時以更小的硬體負擔執行在我們無人機配有的 NVIDIA Jetson AGX Xavier 晶片上 。

### 4.3. Edge Server

#### 4.3.1. Edge Computing

隨著物聯網、AI 及 5G 通訊的蓬勃發展，邊緣運算一詞也隨之受到重視。

邊緣運算 ( Edge Computing ) 其實就是一種分布式運算，edge 則是指靠近數據源頭的運算單位，應用範圍囊括工廠、商店、城市街道、緊急救護設施等，其中包含了許多 IoT 感測器，以往需要將資料送回到雲端處理的模式，已隨著邊緣設備計算能力的提升而有所不同。由 IoT 感測器收集的資料，轉為在邊緣伺服器中進行處理，在必要時便可以加快即時決策速度。

邊緣運算與傳統雲端的相異處如圖 41 所示，在傳統雲端與裝置端間加上一層運算層，在這樣的架構中，數據不需要直接上傳到雲端或是集中數據處理系統。以往大多數的公司都是在雲端伺服器中儲存、管理及分析數據。在 IoT 這樣需要最小延遲、高頻寬的情境底下，例如自駕車、無人機、擴增實境、虛擬實境，雲端運算並不能很好的滿足 IoT 即時處理大量數據的需求。因此邊緣運算的優點就此變得更加明顯。

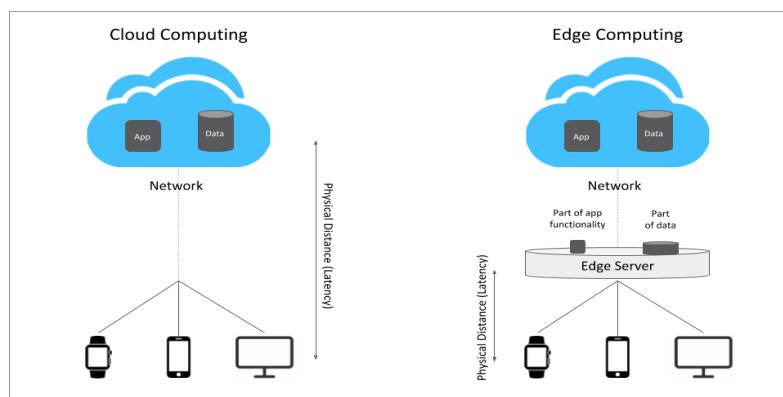


圖 41. 雲端運算及邊緣運算示意圖 [10]

以我們的設計來說，無人機所蒐集的資料可以在邊緣伺服器運算完成後直接以 5G 技術傳輸到虛擬實境 ( AR ) 呈現在使用者眼前。

#### 4.3.2. NVIDIA EGX Platform

隨著 IoT、5G 基礎建設技術逐漸成熟，有許多企業逐漸將運算從以往數據中心進化成邊緣運算、進行即時的運算、決策。NVIDIA EGX Platform 是一個雲原生、邊緣優先的可擴展邊緣運算加速運算平台[11]。硬體擴充方面包含了多種 GPU 整合運算設備，從可以用來處理智慧城市中交通攝影機，僅數瓦能耗就能執行每秒 1.5 TOPS 處理的 NVIDIA® Jetson Nano™，至一整櫃能執行 10,000 TOPS 用於電信作業的微型資料處理中心的 NVIDIA T4。因此在我們的設計中將優先考慮經過 NGC-Ready for Edge 認證的伺服器如圖 42、圖 43。



圖 42. EGX 邊緣伺服器製造商[11]



圖 43. 混合式雲端平台合作夥伴

### 4.3.3. Edge Server Specification



圖 44. Edge Server 示意圖

邊緣運算一詞是為一個相對、概念性詞彙，沒有特定配置可直接稱為邊緣運算裝置，因此一般裝置（如圖 44）我們也可以稱之為邊緣運算。因此，為了因應我們目前所設計之用途、計算量，我們的邊緣運算伺服器規格如表 9。

隨著電信公司逐漸開始採用 5G 技術，未來將會在邊緣端執行軟體定義的應用程式（software-defined applications），例如在我們設計中的最後一環：虛擬實境的影像輸出。因此，若是產品需求量提升的話將會以上節所述之 NVIDIA EGX Platform 及其相關可擴充及整合的運算設備為升級目標。

表 9. Edge Server 規格

| Item        | Edge Server                                 |
|-------------|---|
| CPU         | intel i9-9900X                              |
| GPU         | 2080 Ti x 2                                 |
| Motherboard | ASUS WS X299 PRO                            |
| RAM         | 128GB                                       |
| SSD         | Samsung 860 EVO 500G/M.2 SATA x 2           |
| Power       | Cooler Master V 全模組化 80Plus 白金牌 1300W 電源供應器 |

## 4.4. Display

### 4.4.1. Between AR, VR, MR

#### (1) AR(Augmented Reality)

擴增實境是透過攝影機影像計算位置及角度，並加上圖像分析，使螢幕裡的虛擬世界與現實場景進行結合與互動的技術，如圖 45 所示 Google Map 最新推出的 AR 實景導航。



圖 45. Google Map AR[31]

#### (2) VR(Virtual Reality)

虛擬實境透過穿戴式裝置讓使用者進入一個即時的虛擬世界，如圖 46，使用者可以自由地與虛擬世界互動，包括位置和視線的移動等等。



圖 46. VR 遊戲- Beat Saber[32]

### (3) MR(Mixed Reality)

混合實境可說是 AR 和 VR 的結合，現實物體和虛擬的物件同時存在，並可以自由與之互動。目前代表應用是 Microsoft 的 HoloLens (圖 47)。



圖 47. HoloLens[33]

我們將採用 VR 作為我們顯示模擬環境的技術，因為我們需要的是基於救災現場重建一個完全虛擬的環境，並讓使用者可以在其中與環境互動，藉以了解現場實際狀況。

#### 4.4.2. VR Headset

現在市場上常見的有 HTC VIVE、Oculus 和各家家用遊戲機專用的 VR 裝置，而我們的 VR 頭盔則是以目前最高規格的 HTC VIVE Pro 為原型，因為希望帶給使用者最好的模擬環境。

表 10. HTC VIVE Pro 規格

| Item  | HTC VIVE Pro                            |
|-------|---|
| 螢幕    | 3.5 吋雙 AMOLED 顯示螢幕                      |
| 解析度   | 單眼解析度 1440 x 1600 像素(雙眼 2880 x 1600 像素) |
| 螢幕更新率 | 90 Hz                                   |
| 視野    | 110 度                                   |
| 音響裝置  | Hi-Res 認證耳機                             |
| 裝置連接埠 | 藍牙、USB3.0                               |

表 10 為 HTC VIVE Pro 的規格，藉由兩個螢幕帶來雙眼 2880 x 1600 的解析度，且使用的是 Samsung 的 AMOLED，具有廣視角、低延遲與運動模糊的特點，讓使用者更能身歷其境。除此之外，也可以藉由內建的感測器在虛擬重建世界中探索，包括六軸感測器（加速度計、陀螺儀）偵測位置移動和視角轉動、頭盔上的前鏡頭（圖 48）用來識別手勢以選擇前進方向等等，還有當發現生還者時，可以使用麥克風即時傳輸語音訊息至無人機上，協助他們脫困。除此之外，體積及重量也是關鍵參數之一，為了減輕這兩者，內部鏡片採用了菲涅爾透鏡（見圖 49），雖然會使成像品質降低，卻大幅減低鏡片重量與體積，提升配帶舒適度。



圖 48. 前置鏡頭[34]



圖 49. 內部的菲涅爾透鏡[35]

此外，我們也採用了 VIVE 推出的無線模組（圖 51. VIVE PRO 版無線模組），相比傳統的有線 VR 來說，有更高的活動自由。這個模組是使用 Intel 的 WiGig 規格，在無干擾的 60GHz 頻段運行。WiGig 是一種 IEEE 802.11ad 的無線傳輸介面，提供了 MGWS (Multiple Gigabit Wireless System)，除了可以在一般 Wi-Fi 常用的兩個頻段 2.4GHz 和 5GHz 之間切換之外，WiGig 還可以使用超高頻率的 60GHz，



圖 50. WiGig[36]

高達 7Gbit/s 的傳輸速度，足以支援 VR 這種數據量和運算量大的顯示技術。

[25][26]

但是這種高速傳輸的介面也並非全無缺點，由於頻率極高，使得波長短得許多(mmWave)，導致傳輸距離短，且無法越過牆壁等障礙，不過訊號可以被牆壁、天花板、地板和其他內建 WiGig 系統「波束成形」特性的物體反射，所以 VR 這種室內應用還是沒問題的。[27]

另外，由於目前電腦都無支援 WiGig 介面，所以使用前必須先在電腦的 PCIe 安裝接收器，以接收 WiGig 訊號；還有也得再接上一個行動式電源，以對 VR 頭盔及無線裝置供電。[28]



圖 51. VIVE PRO 版無線模組[37]

#### 4.5. Chiplet

半導體製程持續進步，著力於晶片上電路越來越微縮、面積越小、越省電，但很容易觀察到，為了解決更複雜問題、提供更高運算效能，晶片設計業者在晶片上整合了更多處理器運算核心與其他專用 IP，搭配更大快取記憶體容量、I/O 數量都呈現指數型暴增，甚至更須整合類比及 RF 前端，這些發展使得 IC 設計業者即便使用最先進製程，為了容納更多功能，也更難把晶片尺寸變得更小。不僅如此，如果按照傳統設計方法，晶片面積還越來越大，為了實現更高速、需求更高吞吐量，面積跟消耗功率也比以往更多；在某些極端狀況下，一片 12 吋晶圓只能生產十多顆，甚至不到十顆晶片的情況，如 2019 年 8 月 Cerebras 研發 1.2 兆電晶體 AI 晶片(Cerebras Wafer Scale Engine)[17]，比目前最大的 Nvidia v100 GPU 還大 56.7 倍，每邊約 22 公分，比 iPad 還要大。而晶片尺寸變大，最直接的衝擊就是生產良率降低，造成成本上升。

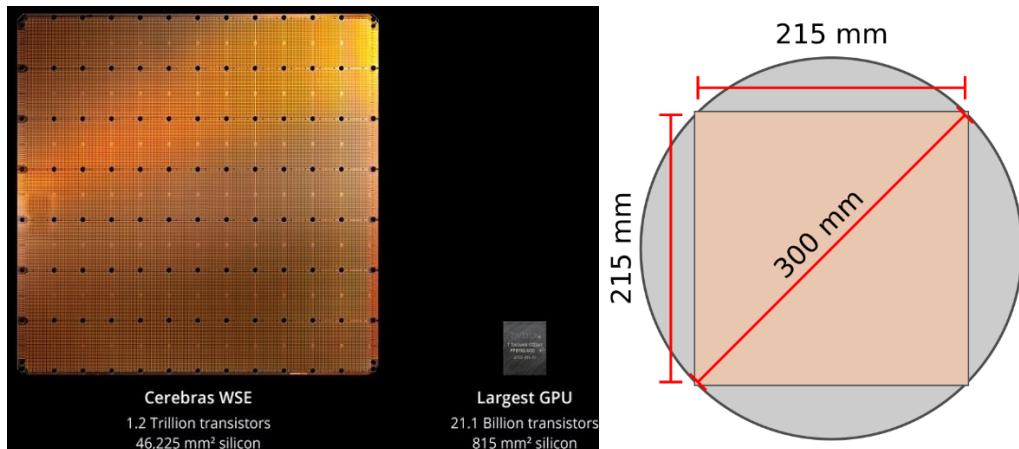


圖 52. Cerebras Wafer Scale Engine 晶片面積

如果能從系統觀點來看，將 SoC 晶片設計重新區分為各功能單元”裸晶”的組成，再透過先進封裝把這些裸晶整合在一個封裝體內，晶片的生產成本會比用單一 SoC 低廉，且未必會在封裝尺寸上犧牲太多；Chiplet 概念，就是一種彌補摩爾定律的設計理念，將 SoC 中 IP reuse 概念，擴展到 SoC 封裝。

Chiplet 模式是一種開發週期短且成本較低的方法，提供了先進製程和主流成熟製程裸晶可以互相搭配的靈活性，將不同製程節點（28nm、14/16nm、10/7nm 等等）、不同材質（矽、砷化鎵、氮化鎵）、數位電路（CPU、GPU）、類比電路（Analog、RF）、DRAM、FPGA、甚至不同 Foundry 生產晶片封裝在一起。

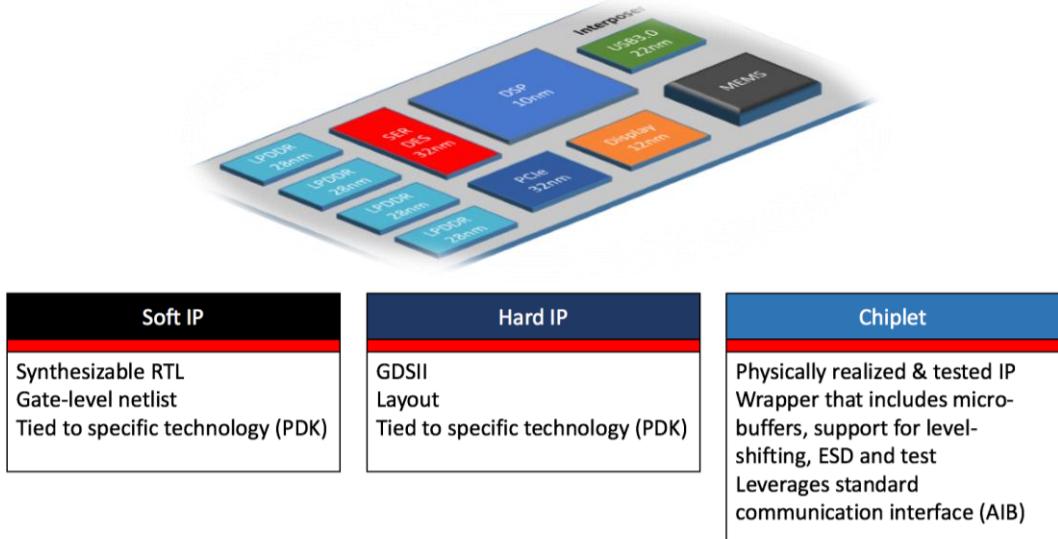


圖 53. Chip-level IP(Intellectual Property)

可以想像，透過不同功能及來源裸晶組成的先進封裝會帶來許多新技術挑戰，例如機構可靠度、時脈分布、電源分配、互連線路如何實作等，但多晶片介面大多為英特爾、AMD 所把持，因此 ODSA (Open Domain-Specific Architecture) · [18]建立一個開放性介面，提出以簡單「線束」(bunch of wires)作為初始實體層介面，能以每接腳(pin) 1、2 或 4 Gbp 的可選速率在有機基板上運作。

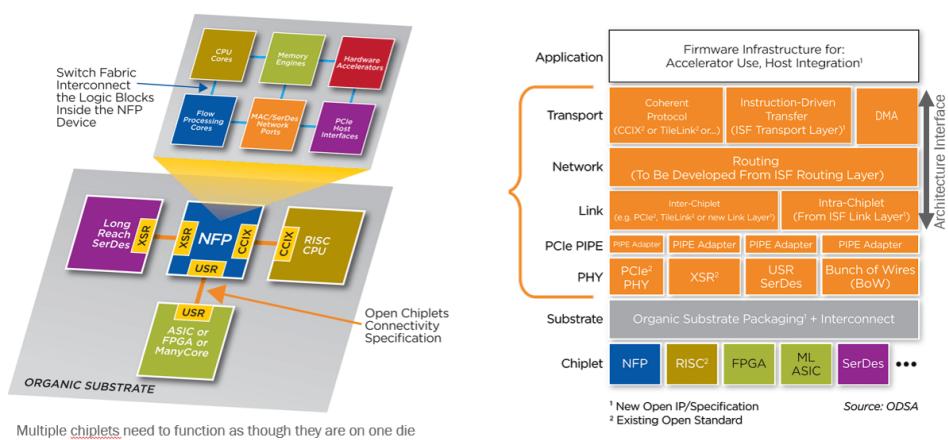


圖 54. Chiplet 多晶片介面

進階的介面還包括：CCIX(Cache Coherent Interconnect for Accelerators)[19]、GenZ(Generation Z) [20]、OpenCAPI(Open Coherent Accelerator Processor Interface)[21]、112G 和 56G serdes 以及 RISC-V TileLink。同時 ODSA 建議將來使用 PCIe PIPE 抽象層來實現各種協議和 PHY 實體層，並支援記憶體 coherent 和 non-coherent 的混合應用。

表 11. CCIX、GenZ、OpenCAPI 比較

| Standard     | Physical Layer                                   | Topology         | Unidirectional Bandwidth   | Mechanicals  | Coherence   |
|--------------|--|------------------|--|--|---|
| CCIX         | PCIe PHY   | p2p and switched | 32-50GB/s x16  | PCIe   | Full cache coherency between processors and accelerators  |
| GenZ         | IEEE 802.3 Short and Long Haul PHY               | p2p and switched | Signaling Rates: 16, 25, 28, 56 GT/s<br>Multiple link widths: 1 to 256 lanes | Supports existing PCIe mechanicals/form factors<br>Will develop new, Gen-Z specific mechanicals/form factors | Does not specify cache coherent agent operations, but does specify protocols that support cache coherent agents |
| OpenCAPI 3.0 | BlueLink 25Gbs PHY<br>Used for OpenCAPI & NVLINK | p2p              | 25GB/s x8  | In definition, see Zaius design for a possible approach  | Coherent access to memory<br>Cache coherence not supported until v4.0   |

迄今為止，幾間大型公司正在創建了自己 chiplet 生態系統，包括 Marvell 的 MoChi、英特爾(Intel)的 EMIB 以及新創公司 zGlue。Marvell 提出 Mochi 概念，最大的驅動力是降低成本，模組化晶片設計，如同 LEGO 般提高模組 reuse 能力。而 Intel 嵌入式多晶片互連橋接技術(Embedded Multi-die Interconnect Bridge，EMIB)技術可採用兩種介面：UIB(Universal Interface Bus)以 Samsung 或 SK Hynix DRAM 堆疊(JEDEC 標準)為基礎；AIB(Advanced Interface Bus)[22]，為收發器的專有介面，廣泛應用於類比、RF 與其他元件；EMIB 技術能連結 FPGA 與 CPU、資料轉換器與光學零組件，比起 2.5D 堆疊技術來說，成本更低、良率更高。



圖 55. 各式 Chiplet 晶片

Chiplet 風潮是由 AMD 帶起的，AMD EPYC 系列成功，讓 chiplet 真正進入主流業界視線，每個 EPYC (Naples) 處理包括 4 個 Zeppelin die，使用 2D MCM (Multi-chip module) 封裝；EPYC (Rome/Milan) 採用 8 個 CCD die 加上一個 IOD，最高核數為 64；Ryzen (Matisse) 則新增了一個 Client IOD；可以觀察到利用 chiplet 彈性設計的好處，不同 die 可以分離設計及演進，再結合為一體。

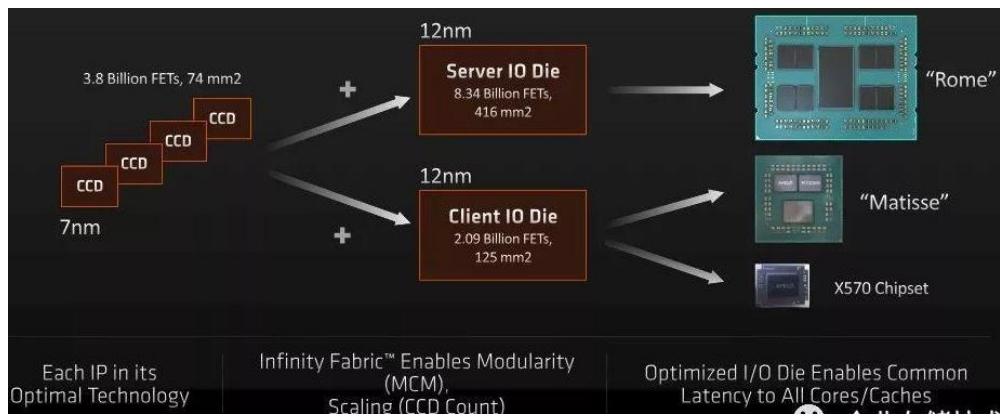


圖 56. AMD Chiplet 設計演進

Xilinx 則早在 2011 年的 Virtex-7 2000T 就已是 4 個 die 的 chiplet 設計，目前則號稱業界唯一提供同構和異構的 3D IC 晶片。

## Chiplet 的未來

SoC(系統單晶片)功能越來越複雜，而先進製程的晶片研發與製造成本不斷

攀升。每次下線成本 NRE 皆為億元起跳，Fabless 公司必須承擔前期投入與下線風險，若能將晶片內 IP 下線成本轉換為裸晶的整合成本，或許是雙贏狀態。ODSA 組織正在制定 Chiplet 開放標準，促進形成 Chiplet ECO system，催生低成本 SoC 替代方案，在不久的將來，就可以根據需求、彈性與靈活選擇不同供應商的裸晶來組成最合適的 Chiplet，不僅降低了 SoC NRE 成本與風險，更能達成快速上市好處。

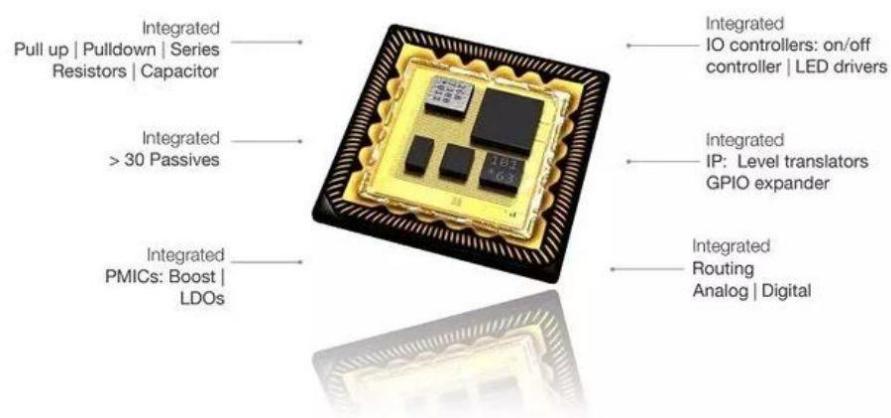


圖 57. Chiplet 整合設計

在我們的 In-depth Scene Exploration and Reconstruction System 應用情境裡，正是想利用 Chiplet 整合設計優勢，融合不同製程與功能之 5G、LiDAR、CPU/GPU、SLAM 及 HBM2 等不同 Foundry 來源裸 die，並大膽假設這些技術演進符合製程需求，即能達成規格所定義低功耗 SoC、低延遲、快速運算等需求。

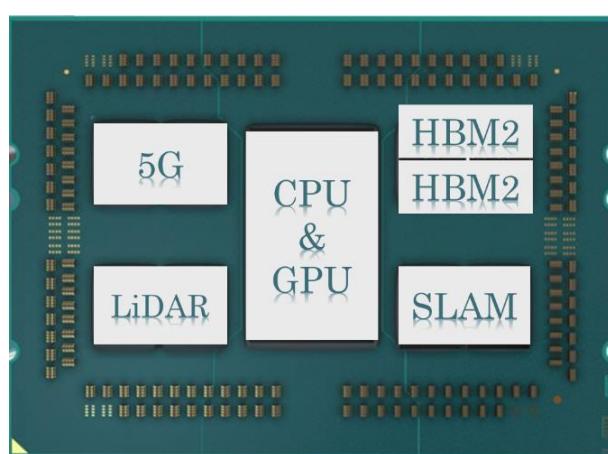


圖 58. 自主開發 Chiplet SoC

## 5. Global Market Analysis

### 5.1. Market Analysis

本案實施的無人機系統其主要目的是協助救災，在市場區隔上，是屬於救災機器人的一種。救災機器人使用的常見情境包括礦難救援、地震災難、爆炸危害、或軍事用途等。使用救災機器人的好處是減少人員傷亡、疲勞及讓機器人進入原本人類無法到達的區域。以下為常見的救災機器人型式，包括 Firefighter robot (圖 59), Aerial rescue robot (圖 60), Urban rescue robot (圖 61).



圖 59. 消防機器人[55]



圖 60. Prototype made by KMUT North Bangkok[56]



圖 61. Aerial Rescue Robot – PARS.[57]

全球頂尖的救災機器人製造公司，分別列出如表 12。

表 12. 全球頂尖救災機器人製造公司

| 公司名   | 註冊國家        | 主力產品   | Funding Amount/Market Cap (USD) |
|---|-------------|--|---------------------------------|
| Rovenso<br><a href="https://www.rovenso.com/">https://www.rovenso.com/</a>  | Switzerland | Security Robot<br>           | \$2.8M                          |
| ANYbotics<br><a href="https://www.anybotics.com/">https://www.anybotics.com/</a>  | Switzerland | Search and Rescue Robot<br>  | N/A                             |
| BlackDog(Division of NPC Robotics)<br><a href="https://blackdogrobotics.com/#apex-page-743">https://blackdogrobotics.com/#apex-page-743</a> | USA         | Search and Rescue Robot<br> | N/A                             |
| Husarion<br><a href="https://husarion.com/index.html">https://husarion.com/index.html</a>   | Poland      | Search and Rescue Robot<br> | \$578K                          |
| Sarcos<br><a href="https://www.sarcos.com/">https://www.sarcos.com/</a>   | USA         | 機器人骨骼<br>                  | \$56.1M                         |

整體機器人市場可分為工業機器人、服務機器人及特種機器人，而救災機器人為特種機器人的一支。根據研究，2020 年全球特種機器人的市場規模將到 77 億美金。2016-2020 年的年均成長率為 12%。在日本提出的“機器人革命”戰略中，包括特種機器人、工業機器人及服務機器人三個主要方向，計劃至 2020 年實現市場規模 12 萬億日元，而特種機器人是增速最快的領域(圖 63)。

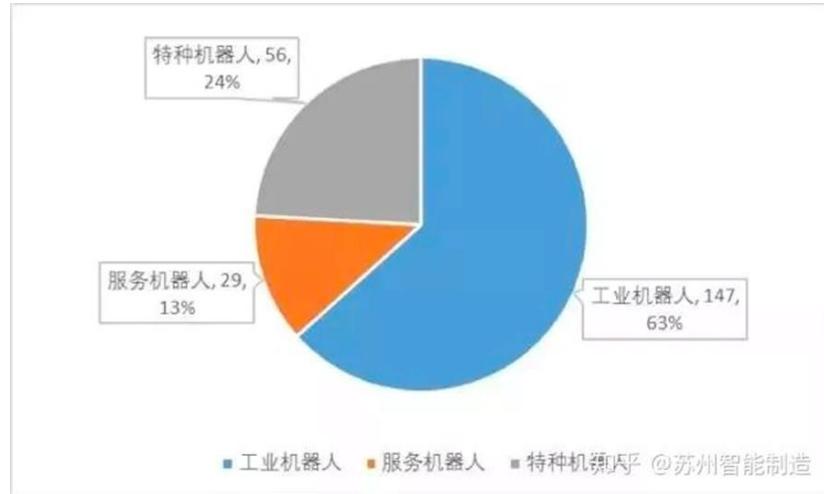


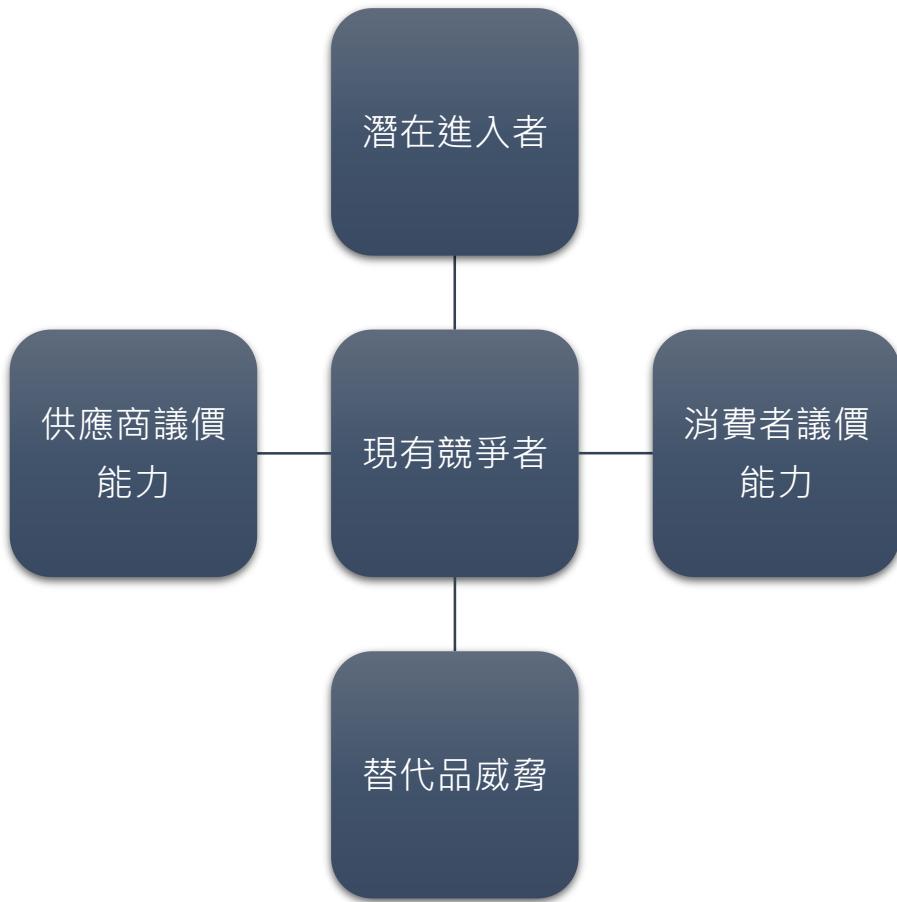
圖 62. 2017 年全球機器人市場結構(億美金)[58]



圖 63. 2012-2020 年全球特種機器人銷售額及成長率[59]

從目前的市場競品分析來看，本案設計的救災機器人尚無明顯的競爭者。而在整體技術趨勢下，AI 人工智能、5G、邊緣運算，感測器皆趨使救災機器人產品更加成熟，可以真的替代人類在更多特殊環境下從事危險工作，提高危機應對能及，及減少不必要的傷亡，和爭取最佳救援時間。

## 5.2. Porter's 5 Forces Analysis



### ➤ 買方的議價能力

低，市場上暫無類似產品，因為許多技術都是目前最先進的，尚無廠商提出如此高整合方案

### ➤ 供應商的議價能力

高，許多元件或技術只有單一廠商提供

- DJI(高)：目前無人機市場領導者是 DJI，市佔率達 76.8%，許多規格和技術也都由 DJI 掌握，無法選擇其他小廠
- NVIDIA (高)：AMD 是 NVIDIA 最大的競爭對手，但 AMD 仍未推出像 Jetson AGX Xavier 這樣運算效率高且功耗低的產品

- MediaTek(低)：Dimensity 1000 是聯發科的第一款 5G 晶片，而其對手有 Qualcomm、Samsung、Huawei 等，市場競爭激烈
- HTC VIVE(中)：除了 HTC VIVE 外，還有 Oculus Rift 和其他 VR 裝置選擇，但單就規格及沉浸體驗來說，HTC VIVE 還是略勝一籌。

➤ 潛在進入者的威脅

中，工研院的「無人機隧道飛行解決方案」

工研院研發「無人機隧道飛行解決方案」，原本人力不易到達的隧道、橋底、離岸風機等深處，可以改派無人機進行滲水、管線老化等檢測；即使在沒有 GPS 的環境下，也可以架設簡便的地面站，透過無線通訊與地面管理系統支援室內定位，即可接收無人機傳遞的即時資訊，精準定位拍攝所需畫面。

該方案主要克服了在隧道中可能的問題，包括：磁力感測計可能受干擾、低光源無法使用相機，因而無法使用磁力或影像確認方位，還有空間狹窄等，協助工程師在安全的監控室即時掌握隧道內最真實的樣貌。[29]

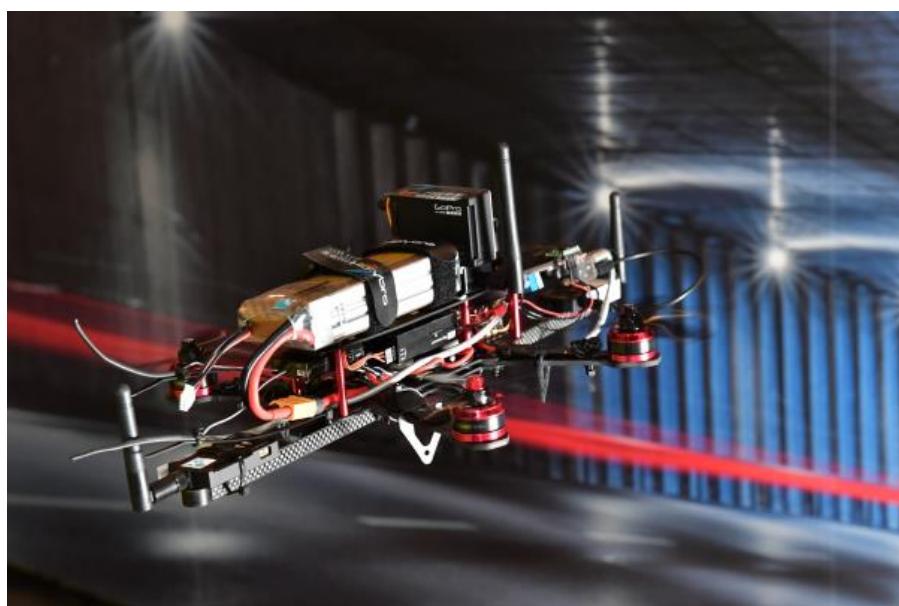


圖 64. 無人機隧道飛行解決方案[38]

➤ 替代品的威脅

中，履帶機器人也可用於探索，也還有其他類救災機器人，但都無此產品優勢。無人機的功耗高，且又因重量限制而無法配置大容量電池，相比之下履帶機器人圖 65 的功耗較低，如果需要長時間的探索，履帶機器人會是更適合的選擇。但是考量到無人機的移動方式更加靈活，或許兩者可以相互結合，以達成長時間的搜索和克服多種險惡的環境。



圖 65. 隧道履帶機器人[39]

➤ 現有競爭者的威脅

無，市場上無競爭者

### 5.3. S.W.O.T Analysis

➤ Strength

1. 採用最新技術並加以整合
2. 市場上還未有相關類型產品

➤ Weakness

1. 受限於無人機規格及功耗，無法進行長時間作業

2. 成本極高

➤ Opportunity

1. 5G 技術崛起

2. 與履帶機器人結合，彌補無人機飛行功耗高的缺點，但必要時仍有無

人機的高機動力

3. 系統模組化，搭載在不同的無人載具上，以進行更加複雜的任務，如

Boston Dynamics 所開發的機器人(圖 66、圖 67)，可以進行搬運、

操縱物品等高精度動作，再搭配我們的 SoC，組成「機器人救難部

隊」，從現場探勘到後續救援行動，完全排除不必要的救災人力損失

➤ Threat

1. 主要用於救災現場，使用率可能比較低



圖 67. Boston Dynamics- Atlas[40]

圖 66. Boston Dynamics- HANDLE[41]

## 6. Conclusion

我們將前述提及的技術與晶片做結合，提出了一個可以進行險峻環境探勘的系統架構。透過這個架構，可以由無人載具進行即時的環境狀態蒐集並做初步分析。利用無人載具來降低人類於探索過程中可能遭受的威脅，並滿足人類的好奇心。其中，我們採用了最新型的 Chiplet 封裝技術，將不同製程的異質晶片進行封裝結合，將市售的晶片進一步整合。其中我們透過了天璣 1000 作為主要訊號傳輸晶片，接著主要的處理器採用 Xavier 的 CPU 與 GPU 進行運算。由於運算過程中需要 RAM 來做一些資料的暫存，所以我們採用了 HBM2 的架構來進一步擴充資料傳輸效率。由於隧道內並沒有 GPS 訊號可以輔助無人機定位，因此我們透過高效率的 SLAM 演算法與其加速器搭配 LiDAR 進行環境資訊蒐集並進行 Fusion 藉此達成無衛星定位的行為。在飛行過程中我們需要確認方位與避開飛行障礙物，盡可能的擴大飛行與探索範圍並降低無人載具的損害，因此 HarDNet 相關的演算法被採用在本設計中，透過 HarDNet 演算法的高速便是特性將可高效率辨別前方障礙物並提前預知可能會有的阻礙進而即時改變飛行航道。經過無人機隊蒐集資訊與探索結果，我們會將資料回傳至 Edge server 進行運算，透過 Edge server 進行資料與環境特徵的運算，我們可以將資料合併傳送至 VR 上。讓使用者可以即時的觀看到目前的探索進度與其環境資訊。

以上，我們將本學期所學應用於這個險峻環境探索無人載具上。透過這些技術便可以滿足探索險峻環境的需求。利用無人載具進行探勘以探索人員危險性降低，並可即時的蒐集環境資訊並進行分析。期許未來有一天我們團隊可以將此概念商品化替人類社會創造更安全的探索方法。

## 7. References

- [1] 2014。RP-63 戰鬥機：美軍二戰時期的打靶練習專用機。read o1。  
cnBeta。<https://reado1.com/NkN2aN.html#.Xh6qecgzYWE>
- [2] 2011。認識搖控飛機  
<https://blog.xuite.net/wu.qp5970/8051/118008100-認識搖控飛機>
- [3] 攝影師：**David McBee**，連結：**Pexels**
- [4] 吳昇儒（2019年11月10日）。救災救護新利器 F16 墜機靠它蒐集救援資訊。自由時報。取自  
<https://news.ltn.com.tw/news/society/breakingnews/2973007>
- [5] 陶子亭（2018年07月17日）。橋樑被撞斷四川村落淪孤島無人機急空運奶粉。DronesPlayer。取自 <https://dronesplayer.com/drone-use/橋樑被撞斷-四川村落淪孤島-無人機急空運奶粉/>
- [6] 陳端武（2019年10月14日）。醫療無人機能比救護車快 7 分鐘將除顫器送到患者身旁。DIGITIMES。取自  
[https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&id=0000570048\\_7791WTZE3CBDX49225QN9](https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&id=0000570048_7791WTZE3CBDX49225QN9)
- [7] 張小玫（2016年08月15日）。無人機是商機還是危機？。科技政策觀點。取自  
<https://portal.stpi.narl.org.tw/index/article/10265;jsessionid=E739985C305563D37A85E480E06C5292>
- [8] 陳祐元（2018年07月06日）。影 / 救援行動首傳罹難！1 分半了解泰受困 13 人多難救。聯合影音網。取自 <https://video.udn.com/news/903774>
- [9] 吳巧曦（2018年07月04日）。泰 13 師生 穴困 9 天 奇蹟活命。蘋果日報。取自

- <https://tw.appledaily.com/international/daily/20180704/38060802>
- [10] “Beginner’s Guide to Edge Computing – All You Need to Know to Get Started”, <https://www.trantorinc.com/blog/beginners-guide-edge-computing/>
- [11] NVIDIA。適用邊緣運算的 NVIDIA EGX 平台。NVIDIA 官網。取自 <https://www.nvidia.com/zh-tw/data-center/products/egx-edge-computing/>
- [12] MediaTek, MediaTek Dimensity 1000, Retrieved from <https://www MEDIATEK.com/products/smartphones/dimensity-1000>
- [13] SK Hynix HBM2 <https://www.skhynix.com/chat/product/dramHBM.jsp>
- [14] Samsung HBM2 <https://www.samsung.com/semiconductor/dram/hbm/>
- [15] T. Lee, C. Kim, D. Cho, "A monocular vision sensor-based efficient SLAM method for indoor service robots", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2018
- [16] Ziyun Li, Yu Chen, Luyao Gong, Lu Liu , Dennis Sylvester, David Blaauw, Hun-Seok Kim, "An 879GOPS 243mW 80fps VGA Fully Visual CNN-SLAM Processor for Wide-Range Autonomous Exploration", in IEEE International Solid State Circuits Conference (ISSCC), 2019
- [17] Cerebras Wafer Scale Engine AI chip is Largest Ever  
<https://www.servethehome.com/cerebras-wafer-scale-engine-ai-chip-is-largest-ever/>
- [18] Open Domain-Specific Architecture  
[https://www.opencompute.org/wiki/Main\\_Page](https://www.opencompute.org/wiki/Main_Page)
- [19] CCIX Consortium <https://ccixconsortium.com/>
- [20] Gen-Z Consortium <https://genzconsortium.org/>
- [21] OpenCAPI <https://www.opencapi.org/>
- [22] Advanced Interface Bus  
<https://www.intel.com.tw/content/www/tw/zh/architecture-and-technology/programmable/heterogeneous-integration/overview.html>
- [23] “VIVE Pro”, HTC VIVE  
<https://www.vive.com/tw/product/vive-pro/>
- [24] “菲涅爾透鏡”, WIKI

<https://zh.wikipedia.org/wiki/菲涅耳透鏡>

[25] “IEEE\_802.11ad”, WIKI

[https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11ad](https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ad)

[26] “New CAPWAP architectures for IEEE 802.11ad based Wi-Fi/WiGig

WLANS”, Ahmed S. A. Mubarak ; Hamada Esmaiel ; Ehab Mahmoud

Mohamed

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8316630>

[27] “WiGig”, WIKI <https://zh.wikipedia.org/wiki/WiGig>

[28] “HTC 實現無線頂級 VR 承諾 VIVE 無線模組正式登場”, HTC VIVE

<https://www.htc.com/tw/newsroom/2018-08-21/>

[29] “自動辨識可疑人物、無人機隧道飛行...工研院 ICT TechDay 展示 34 項創

新技術”, 立報傳媒 <https://www.limeda.tw/tech/8641/>

[30] “ICT TechDay 秀關鍵技術 無人機隧道飛行方案開拓應用新機”, 吳柏好

<https://www.2cm.com.tw/2cm/zh-tw/market/8947F19Co91F4B7591DB01722718FA3D>

[31] <https://fnc.ebc.net.tw/FncNews/tech/107826>

[32] <https://www.steamxo.com/2019/05/29/673255>

[33] <https://www.arm.com/blogs/blueprint/microsofts-hololens-2-brings-augmented-reality-to-industry>

[34] <https://zhuanlan.zhihu.com/p/35719842>

[35] <https://zhuanlan.zhihu.com/p/35719842>

[36] <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%97%A0%E7%BA%BF%E5%8D%83%E5%85%86%E8%81%94%E7%9B%9F>

[37] <https://www.vive.com/tw/wireless-adapter/>

[38] <https://www.limeda.tw/tech/8641/>

[39] [https://defense-update.com/20140727\\_underground-robots.html](https://defense-update.com/20140727_underground-robots.html)

[40] <https://www.bostondynamics.com/atlas>

[41] <https://www.bostondynamics.com/handle>

[42] Survey of structure from motion

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7062508>

[43] Structure from Motion (SfM) photogrammetric principle. Source: Theia-sfm.org (2016). [https://www.researchgate.net/figure/Structure-from-Motion-SfM-photogrammetric-principle-Source-Theia-sfmorg-2016\\_fig3\\_303824023](https://www.researchgate.net/figure/Structure-from-Motion-SfM-photogrammetric-principle-Source-Theia-sfmorg-2016_fig3_303824023)

[44] Development of coaxial 3D-LiDAR systems using MEMS scanners for automotive applications

<https://opticalengineering.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/10757/107570E/Development-of-coaxial-3D-LiDAR-systems-using-MEMS-scanners-for/10.1117/12.2323693.short>

[45] LiDAR in Self-Driving Cars <https://medium.com/@BabakShah/lidar-in-self-driving-cars-cee29db94af7>

[46] An Overview of LiDAR Imaging Systems for Autonomous Vehicles  
<https://www.mdpi.com/2076-3417/9/19/4093/pdf>

[47] 車用激光雷達 ( LiDAR )：通向全自動駕駛之路 | 行業研究

<https://www.getito1.com/p2018091043698559/>

[48] 【新興領域：6 月焦點 6】光達技術規格大比拏

[https://findit.org.tw/upload/research/research\\_20190619008.pdf](https://findit.org.tw/upload/research/research_20190619008.pdf)

[49] 汽车 LiDAR 的“先行者”——机械式 LiDAR

<https://blog.csdn.net/haima1998/article/details/80149431>

[50] LiDAR 系列报道 (三)：汽车 LiDAR 的“革新者”——混合固态 LiDAR

[http://www.mems.me/mems/system\\_integrator\\_201711/5636.html](http://www.mems.me/mems/system_integrator_201711/5636.html)

[51] 倖科技：Pioneer 活用光學技術投入車用 3D LiDAR，並攜手 NVIDIA DriveWork 加速導入自駕應用 <https://www.cool3c.com/article/134032>

[52] [https://www.researchgate.net/figure/Structure-from-Motion-SfM-photogrammetric-principle-Source-Theia-sfmorg-2016\\_fig3\\_303824023](https://www.researchgate.net/figure/Structure-from-Motion-SfM-photogrammetric-principle-Source-Theia-sfmorg-2016_fig3_303824023)

[53] <https://github.com/mapillary/OpenSfM>

[54] <https://www.pix4d.com/blog/drone-map-hurricane-dorian>

[55] <https://news.tvbs.com.tw/life/1142154>

[56] <https://www.youtube.com/watch?v=qLKsFDkshuI>

[57] <https://www.roboticstomorrow.com/article/2013/11/the-savior-aerial->

[robot-pars/209](#)

[58]<https://zhuanlan.zhihu.com/p/36542282>

[59]<https://zhuanlan.zhihu.com/p/36542282>

## 8. Team Member Task Partition

Introduction : 陳奕華

Motivation : 江崑祺

System Architecture : 江崑祺、陳奕華

市場評估 : 陳勇志

五力、SWOT分析 : 簡瑜成

技術分析 :

- Drone:
  - Communication-5G: 江崑祺
  - Localization-SLAM: 鄭良加
  - Sensing Technique-LiDAR: 陳勇志
  - Mapping and Constructio-Structure-from-Motion: 陳勇志
  - AI-obstacle detection and avoidance, path planning strategy: 郭偉祥
- Edge Server: 陳奕華
- 3D Display, VR: 簡瑜成
- Chiplet package technical: 鄭良加
- HBM2: 鄭良加

SoC規格訂定 : 江崑祺

系統架構圖、資料流程圖 : 陳奕華

結論 : 江崑祺

Report彙整 : 陳奕華