

產業用語指引手冊

無人載具—地面篇

(Unmanned Ground Vehicle, UGV)



國立成功大學

雙語教育推動辦公室

序言 (Preface)

隨著人工智慧、先進感測技術與自動控制領域的飛速進展，無人地面載具 (Unmanned Ground Vehicles, UGV) 已從概念性的實驗室研究，正式邁向規模化的商業與軍事應用。今日，無論是在國防安全、工業物流、農業探勘、災難救援，亦或是智慧城市的基礎建設中，UGV 都扮演著推動變革的核心驅動力。

產業的蓬勃發展，必然伴隨著技術交流與跨國合作的日益頻繁。然而，面對日新月異的前瞻技術與不斷湧現的新概念，專業詞彙的標準化與精確翻譯，成為了跨越語言藩籬、推動國際技術對接的首要挑戰。在實務運作中，術語使用的不一致往往會造成溝通成本增加，甚至導致工程師、研究人員與決策者之間的理解落差。

為此，我們彙整了國內外產學研界的權威資料與最新發展趨勢，精心編纂了這本《無人地面載具產業中英專業用語手冊》。本手冊的編纂宗旨在於：

- **建立標準化溝通基準：**提供系統化、精確且符合國際產業脈動的中英雙語詞彙對照，減少跨國技術交流時的語義歧異。
- **涵蓋全方位技術領域：**內容廣泛收錄了從底層的機電整合、導航與定位演算法、感測器融合技術，到上層的系統架構、通訊協定、人工智慧模型以及實際應用場景等多個維度的核心術語。
- **賦能產業鏈多元角色：**無論是致力於前瞻研發的工程師、學術界的專家學者、制定政策的公部門，抑或是從事國際貿易與市場推廣的從業人員，皆能將此手冊作為案頭必備的實用參考工具。

無人載具技術的發展是一場持續進行的馬拉松，而精準的語言則是讓團隊並肩前行的重要基石。期盼本手冊的問世，能為無人地面載具產業的產、官、學、研各界搭建起一座無縫溝通的橋樑，協助使用者精準掌握國際技術脈動，進而加速推動本土技術的創新落地與全球化佈局。

在此，特別感謝所有參與內容校對、技術諮詢與編纂工作的專家學者。願這本手冊能成為您在無人地面載具領域探索與深耕的得力助手。

註：本手冊內之插圖皆由 AI 技術生成。

目錄 (Table of Contents)

序言 (Preface).....	i
第一章：無人地面載具基礎概念與分類.....	1
1.1 無人地面載具定義與核心要素	1
1.2 系統總體架構與硬體平台.....	2
1.3 依自主程度分級	3
1.4 依體積與任務規模分類.....	4
第二章：系統總體架構與硬體平台	5
2.1 UGV 五大核心系統架構.....	5
2.2 載具平台基礎、懸吊系統與作業機械手臂.....	6
第三章：動力驅動與能源管理系統	7
3.1 動力系統循環與主流/延伸能源種類	7
3.2 電池管理系統(BMS)與電壓轉換分配.....	9
3.3 能源管理策略與動能回收機制	10
第四章：馬達驅動與運動控制機制	11
4.1 直流馬達與傳動變速機構.....	11
4.2 進階驅動技術：輪轂馬達.....	12
4.3 訊號傳遞 (PWM) 與伺服機控制	12
4.4 循跡控制(TCS)與動態扭力分配.....	13
第五章：環境感知、定位與資料融合	15
5.1 距離與測繪感知	15
5.2 視覺感知系統.....	16
5.3 定位與姿態感測	16
5.4 多感測器資料融合與核心定位演算法.....	17
第六章：系統控制架構與任務規劃	19
6.1 層次化控制架構	19
6.2 階層控制任務.....	20
第七章：通訊系統與遠端指揮.....	21
7.1 內外部多層次通訊架構與應急機制	21
7.2 核心通訊協定與訊息交換	23
7.3 地面指揮站 (GCS) 與人機互動.....	24
第八章：實際產業應用.....	25
8.1 軍事應用.....	25
8.2 農業應用.....	26
附錄：無人地面載具產業中英文專業用語彙整表(Glossary)	27

第一章：無人地面載具基礎概念與分類

萬丈高樓平地起。本章作為手冊的開篇，旨在為讀者建立無人地面載具(UGV)的宏觀認知基準。我們將從 UGV 的核心定義出發，探討其不搭載人類駕駛員且具備環境感知能力的本質。接著，依據不同的物理特性與軟體能力，介紹載具在移動機構(如輪式、履帶式、足式)、自主化程度(從遠端遙控到網路中心自主)，以及體積與任務規模上的多元分類。這些基礎詞彙是跨入無人載具領域、建立共通語言的首要鑰匙。

1.1 無人地面載具定義與核心要素

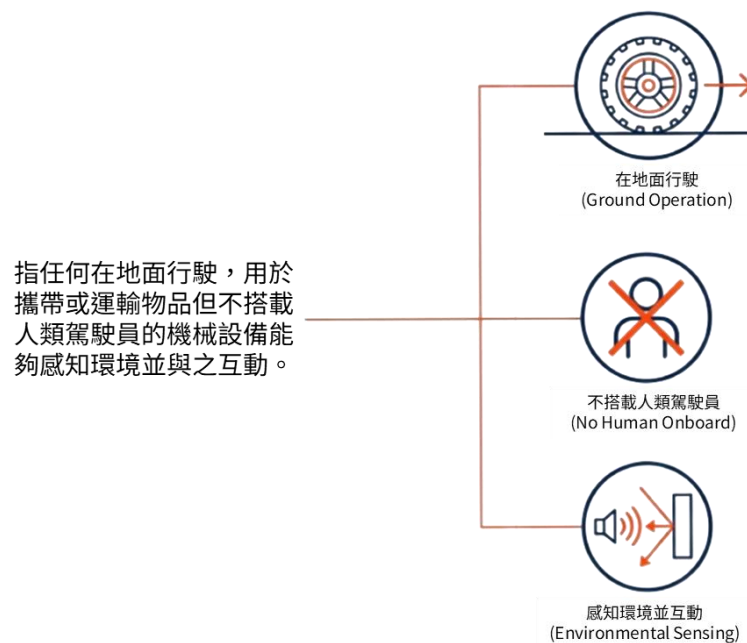


圖 1 無人地面載具(Unmanned Ground Vehicle, UGV)定義示意圖

圖中說明無人地面載具(Unmanned Ground Vehicle, UGV)的定義架構。UGV 是指一種在地面行駛，用於攜帶或運輸物品，且具備自主或遠端作業能力的機械設備。其核心定義包含三大要素：

- 地面行駛(Ground Operation)：指載具具備在陸地表面移動與運作的能力。
- 不搭載人類駕駛員(No Human Onboard)：強調其自動化特性，運行時車體內不需任何人類人員直接操作。
- 感知環境並互動(Environmental Sensing)：載具能透過感測系統辨識周遭狀態，並根據環境變化做出相應的反饋。

總結而言，UGV 整合了地面移動與環境感知(Environmental Sensing)技術，在無需人類駕駛的情況下，實現與環境互動並完成運輸任務。

1.2 系統總體架構與硬體平台

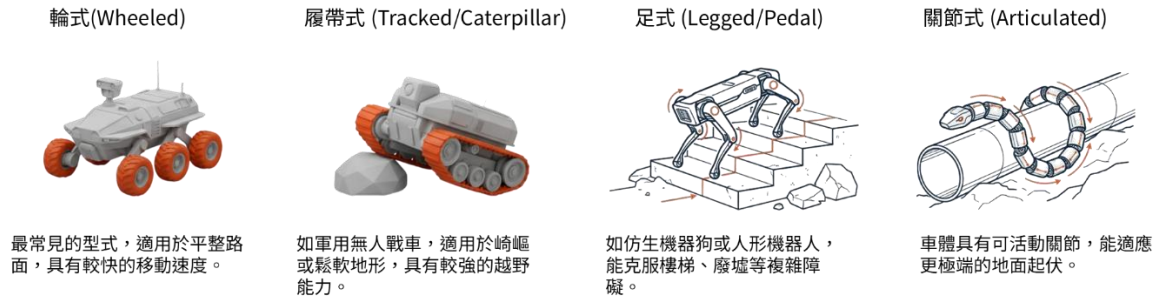


圖 2 依移動機構(Mode of Locomotion)分類示意圖

圖中展示無人地面載具 (Unmanned Ground Vehicle, UGV) 依照其移動機構 (Mode of Locomotion) 進行的四種主要分類及其特性：

- 輪式(Wheeled): 最常見的設計，優點在於結構簡單、能源效率高，在平整路面上具有較快的移動速度。
- 履帶式(Tracked/Caterpillar): 常見於軍用無人戰車，透過增大地面接觸面積來提升抓地力，適用於崎嶇或鬆軟地形，具備極強的越野能力(Off-road Capability)。
- 足式(Legged/Pedal): 包含仿生機器狗或人形機器人，能模擬生物步態，靈活跨越樓梯、廢墟等傳統輪式設備無法克服的複雜障礙。
- 關節式(Articulated): 載具由多個具備可活動關節 (Active Joints) 的節段組成，能如蛇類般扭動，適應極端崎嶇的地面起伏或狹窄空間。

總結而言，開發者會根據作業環境的複雜程度，為載具選擇最適合的移動機構。

1.3 依自主程度分級

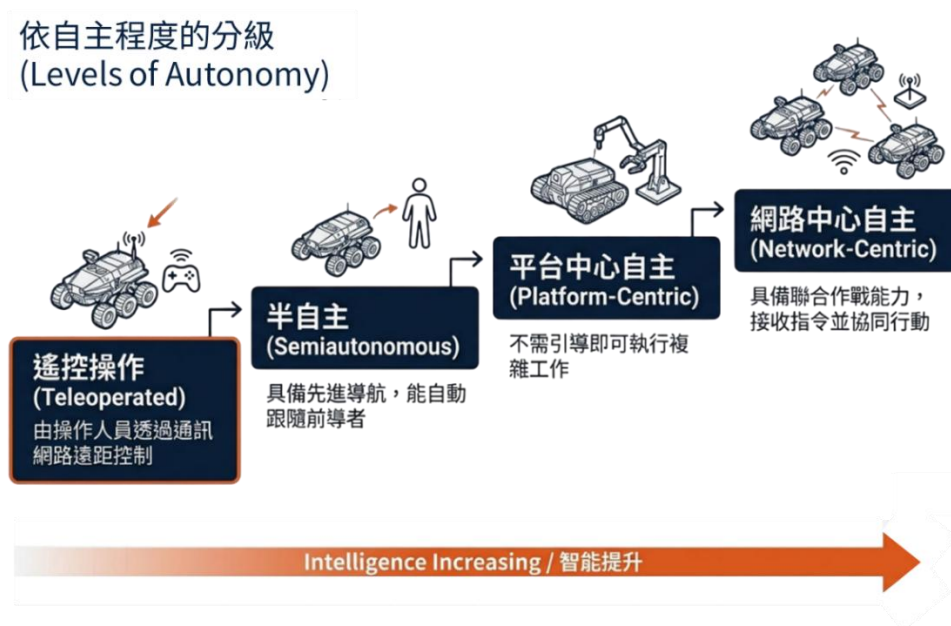


圖 3 依自主程度(Levels of Autonomy)分級示意圖

此圖說明無人地面載具依自主程度(Levels of Autonomy)劃分的四個演進階段，展示了隨著技術進步，系統智能提升(Intelligence Increasing)的發展趨勢：

- 遙控操作(Teleoperated): 最基礎的模式，載具完全由操作人員透過通訊網路進行遠距即時控制。
- 半自主(Semiautonomous): 具備先進導航系統，能實現自動跟隨前導者等輔助功能。
- 平台中心自主(Platform-Centric): 單機具備高度獨立判斷能力，不需外部引導即可自行執行複雜工作。
- 網路中心自主(Network-Centric): 最高等級的自主化，具備聯合操作(Joint Operations)能力，多台載具能透過網路協作、接收指令並達成群體任務目標。

整體而言，此架構呈現了載具從「受控工具」演進為「智慧協作夥伴」的過程。

1.4 依體積與任務規模分類

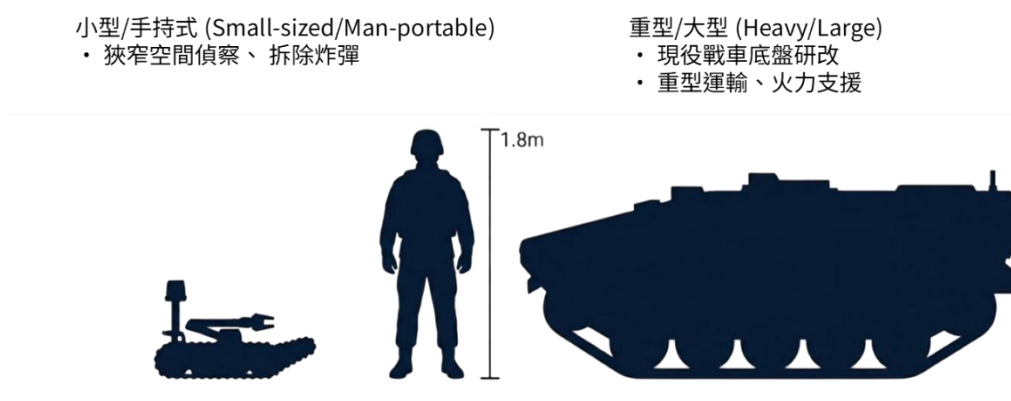


圖 4 依體型 (Size Classifications)與任務規模分類示意圖

此圖片說明無人地面載具 UGV 依體型(Size Classifications)與任務規模(Mission Scope)的分類對比，並以 1.8 公尺之成年男性作為比例參照：

- 小型/手持式(Small-sized/Man-portable)：體積輕巧，便於單兵攜帶。主要應用於狹窄空間偵察(Narrow Space Reconnaissance)及拆除炸彈 (Bomb Disposal / Explosive Ordnance Disposal, EOD)等高風險精細任務。
- 中型 (Medium)：體積與傳統裝甲車相當，通常由現役戰車底盤研改(Existing Tank Chassis Modification)而來。其主要功能為執行偵察、運送物資 (Reconnaissance / Transport) 等任務。
- 重型/大型(Heavy/Large)：體積與傳統裝甲車相當，通常由現役戰車底盤研改(Existing Tank Chassis Modification)而來。其主要功能為執行重型運輸(Heavy Transportation) 與提供前線火力支援(Fire Support)。

圖中清楚呈現了從單兵戰術輔助到重型作戰平台的不同定位，強調了 UGV 隨體型差異而具備多樣化的任務適應性。

第二章：系統總體架構與硬體平台

無人載具的強大功能，仰賴於各個子系統的精密協同與堅實的實體軀幹。本章將帶領讀者俯瞰 UGV 的五大核心系統架構，並深入探索作為載具骨架的硬體平台。內容涵蓋了底盤機械結構、懸吊系統的配置，以及執行複雜任務所需的作業機械手臂。透過本章的專業術語對照，工程師與研發人員能更精準地進行系統模組的劃分與硬體規格的跨國溝通。

2.1 UGV 五大核心系統架構

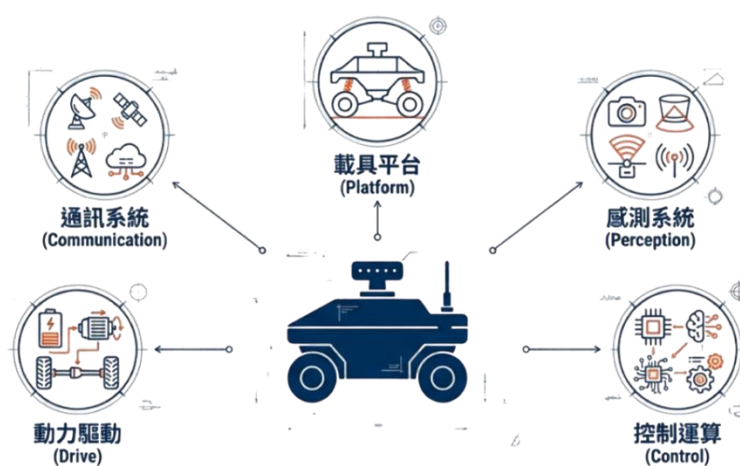


圖 5 UGV 五大核心系統示意圖

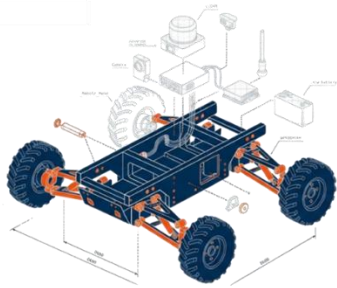
圖中說明構成無人地面載具(UGV)的五大核心系統(Five Core Systems)，展現了其硬體與軟體協作的完整架構：

- 載具平台(Platform)：載具的物理主體與底盤，負責承載所有設備與酬載。
- 感測系統(Perception)：如同載具的感官，透過攝影機、雷達或光達獲取周遭環境資訊。
- 控制運算(Control)：載具的決策中樞，負責處理數據、路徑規劃並執行自動化指令(Automated Commands)。
- 動力驅動(Drive)：包含動力來源(如電池)與傳動機構，提供載具移動所需的動力。
- 通訊系統(Communication)：負責載具與外部控制站或網路之間的數據傳輸 (Data Transmission)與信號交換。

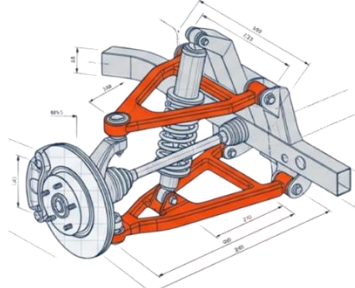
這五大系統相互整合，使 UGV 能夠具備從基礎的地面移動到高階的環境感知與自主決策(Autonomous Decision-making) 能力。

2.2 載具平台基礎、懸吊系統與作業機械手臂

- 底盤(Chassis)
- 懸吊系統(Suspension System)
- 移動機構(Locomotion Mechanism)



- 雙橫臂懸吊
(Double Wishbone Suspension)



- 機械手臂
(Robotic Arm / Manipulator)

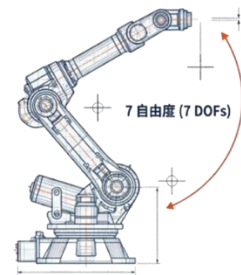


圖 5 載具平台與機械結構示意圖

圖中解析無人地面載具的硬體組成與精密機械結構，展示了載具如何透過結構設計實現穩定的物理作業能力：

- 載具平台基礎：由底盤(Chassis)、懸吊系統(Suspension System)與移動機構(Locomotion Mechanism)共同構成，這三者是載具承重與移動的骨幹。
- 懸吊技術細節：圖中特別強調了雙橫臂懸吊(Double Wishbone Suspension)，這種結構能提供優異的橫向剛性與地面適應力，確保載具在崎嶇地形行駛時的穩定性。
- 作業執行機構：搭載的機械手臂(Robotic Arm / Manipulator) 是執行任務的核心，具備 7 自由度(7 Degrees of Freedom, 7 DOFs)。這代表該手臂擁有極高的靈活性，能模擬人類手臂執行精密且複雜的抓取與修復任務。

總結來說，透過高性能底盤與多自由度機械手臂的結合，UGV 不僅能「走得穩」，更能精準完成各類機械操作。

第三章：動力驅動與能源管理系統

動力是驅動載具前行的命脈，而高效的能源管理則是維持長效運行的關鍵。本章聚焦於 UGV 的能量核心，收錄了各種主流與延伸能源種類的專業詞彙。更進一步，我們將探討電池管理系統(BMS)、電壓轉換分配架構，以及動能回收等進階能源管理策略。掌握這些術語，有助於研發團隊在續航力、安全性與能源轉換效率之間取得最佳平衡，並精確傳達技術規格。

3.1 動力系統循環與主流/延伸能源種類

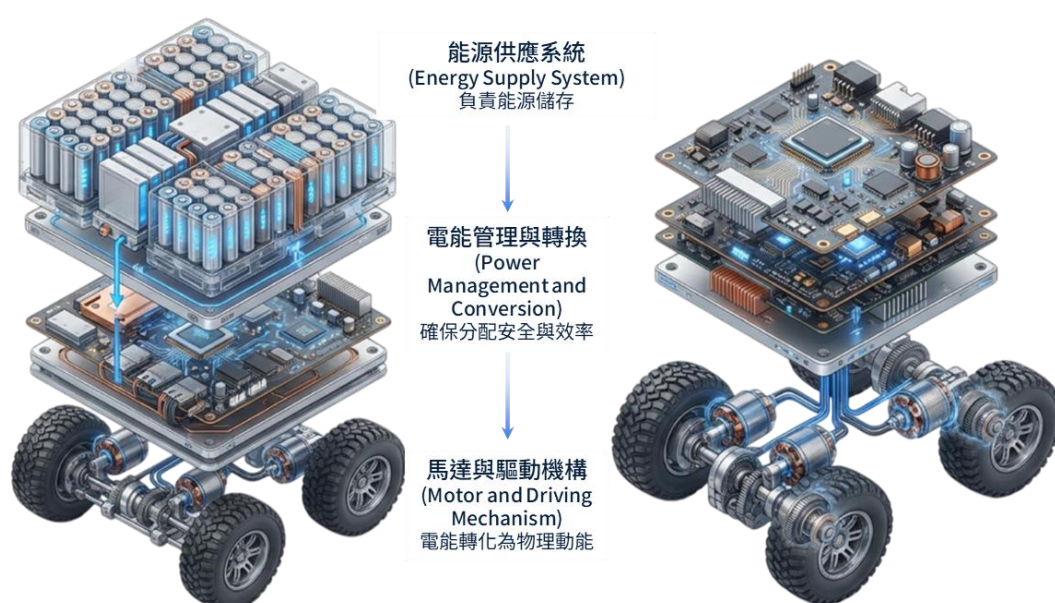


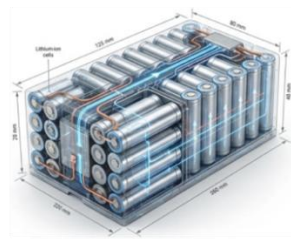
圖 5 動力系統示意圖

圖中詳述無人地面載具的動力系統(Powertrain System)架構，展示了能量從儲存到轉化為物理動作的完整流程：

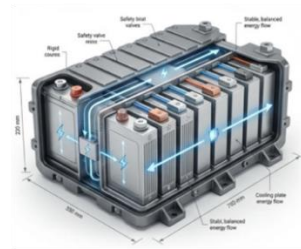
- 能源供應系統(Energy Supply System): 位於最上層，負責能源儲存，是提供載具運行所需電力的核心來源。
- 電能管理與轉換(Power Management and Conversion): 作為中間層的處理單元，負責確保電壓與電流分配的安全與效率，並將電力精準供給至各個電子組件。
- 馬達與驅動機構(Motor and Driving Mechanism): 位於底盤層級，負責將電能最終轉化為物理動能(Physical Kinetic Energy)，藉此驅動輪胎並實現載具的地面移動。

透過這三大模組的緊密銜接，無人載具得發揮穩定的動力性能，並實現高效的能源管理與任務執行。

主流能源：鋰電池



鋰離子電池
(Lithium-ion battery/
Li-ion battery)
能量密度高



磷酸鋰鐵電池
(Lithium Iron Phosphate Battery/
LiFePO Battery/
LFP Battery)
高穩定性

混合動力系統



顯著延長作業航程與時間

再生能源(Renewable Energy)

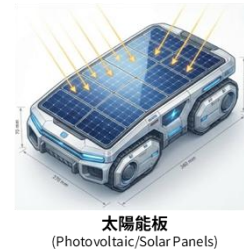


圖 6 能源種類示意圖

圖中展示了三種常見的載具動力來源：

- 上半部介紹主流的鋰電池技術，包含具備高能量密度的鋰離子電池(Lithium-ion battery, Li-ion battery)，以及具備高穩定性的磷酸鋰鐵電池(Lithium Iron Phosphate Battery, LFP Battery)。
- 左下角說明混合動力系統(Hybrid Power System) 的運作概念，藉由內燃機(Internal Combustion Engine) 帶動發電機(Generator) 產生電力，此架構能顯著延長作業航程與時間。
- 右下角則呈現再生能源(Renewable Energy) 的應用，利用車載太陽能板(Photovoltaic/Solar Panels) 收集光能，作為輔助的綠色動力來源。。

3.2 電池管理系統(BMS)與電壓轉換分配



圖 7 電池管理系統(Battery Management System, BMS)示意圖

圖中展示電池管理系統(Battery Management System, BMS)在維持電池模組安全與效能上的核心作用，呈現系統對單顆電池的即時數據追蹤，精確標示出各電池的運作參數，並能即時揪出異常狀況，並列出 BMS 的三大關鍵功能：

1. 監測電池狀態(Monitor Battery Status)：持續掌握電池模組的整體健康度與運作條件。
2. 電壓平衡(Voltage Balance)：確保各單體電池之間的充放電狀態一致，以提升效能並延長使用壽命。
3. 溫度監控(Temperature Control)：即時掌握電池溫度變化，防止過熱，保障系統的安全性。

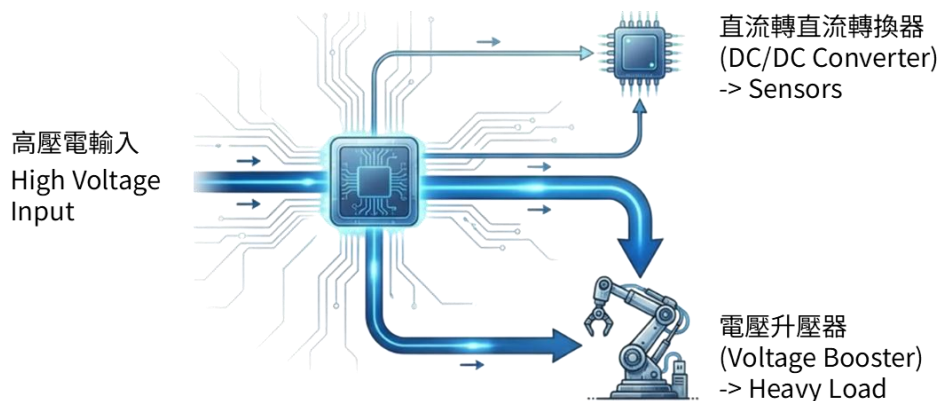


圖 8 電壓轉換與分配(Voltage Conversion & Distribution)示意圖

圖中展示系統如何將輸入的電源進行管理與配置，以滿足不同終端元件的用電需求。

- 系統左側接收高壓電輸入(High Voltage Input)，電力進入中央處理單元後，會根據後端設備的特性進行分流與轉換：
- 感測設備端(上方分支)：透過直流轉直流轉換器(DC/DC Converter)，將電壓轉換(通常為降壓)至適合微電子元件的規格，以穩定供應給各類感測器(Sensors) 運作。

- 高功率動力端(下方分支)：針對需要龐大動力的設備(如圖中所示的機械臂)，則配合電壓升壓器 (Voltage Booster)或高壓直通配置，確保能提供充足的能量來驅動重負載(Heavy Load)機構。此架構清楚呈現了電源管理中，針對不同功耗與電壓需求所執行的分級供電策略。

3.3 能源管理策略與動能回收機制

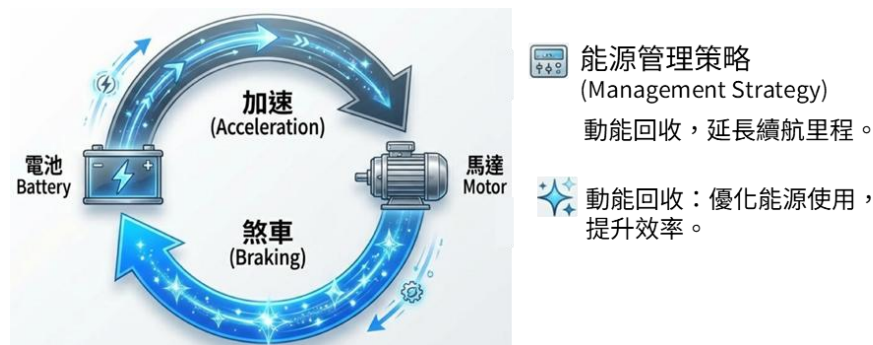


圖 9 能源管理策略與回收示意圖

圖中說明無人地面載具的能源管理策略(Management Strategy)與電能循環機制，展示了系統如何透過智慧化手段提升運作效率：

- 加速(Acceleration)階段：由電池(Battery)輸出電能驅動馬達(Motor)，將儲存的能量轉化為動能，使載具前進。
- 煞車(Braking)階段：啟動動能回收(Regenerative Braking)機制。當載具減速或制動時，馬達轉變為發電機模式，將原本會散失的動能重新轉化為電能並回充至電池中。
- 效能優化：透過這種循環管理，系統能有效優化能源使用(Optimize Energy Usage)，減少電力浪費，進而達到延長續航里程(Extend Endurance/Range)的目標。

總結而言，高效的能源管理循環是確保 UGV 能長時間執行任務並提升整體系統效率的關鍵技術。

第四章：馬達驅動與運動控制機制

如何將電能精準轉化為流暢的物理位移，是載具運動控制的核心課題。本章深入探討底層的驅動與控制技術，涵蓋從傳統的直流馬達、傳動變速機構，到先進的輪轂馬達設計。此外，也收錄了脈衝寬度調變(PWM)訊號傳遞、伺服機運作，以及循跡控制(TCS)與動態扭力分配的專業術語。這些字彙是機電整合工程師實現載具平穩、精確行駛的必備語言。

4.1 直流馬達與傳動變速機構

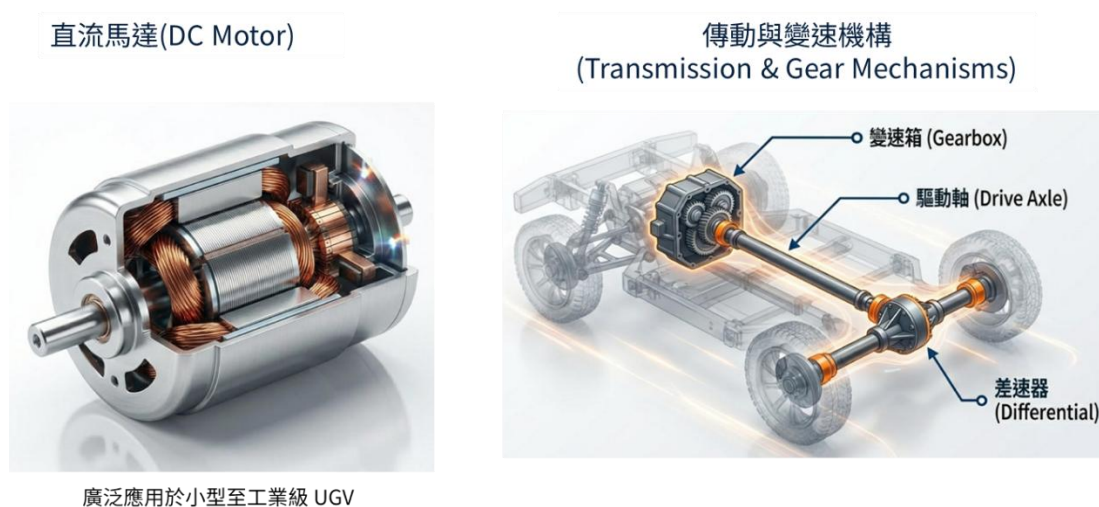


圖 10 馬達與驅動示意圖

這張圖展現無人地面載具的動力來源與扭力傳輸結構，說明電能如何轉化為實際的物理位移：

- 直流馬達(DC Motor): 作為核心動力源，因其控制精確且動力輸出穩定，廣泛應用於從小型偵察型到工業級的 UGV。
- 傳動與變速機構(Transmission & Gear Mechanisms): 負責將馬達產生的高速旋轉轉化為適合行駛的扭力與轉速。其包含三個關鍵組件：
 - 變速箱(Gearbox): 調整齒輪比以優化動力輸出。
 - 驅動軸(Drive Axle): 將動力由變速箱傳遞至輪端。
 - 差速器(Differential): 確保車輪在轉向時能以不同轉速旋轉，提升行駛穩定性。

總結而言，透過直流馬達(DC Motor)與精密傳動機構(Transmission Mechanisms)的協作，載具能高效地完成動能傳遞並適應各種複雜路況。

4.2 進階驅動技術：輪轂馬達

進階驅動



- 輪轂馬達(In-wheel Electric Motor)
- 全輪獨立驅動(All-Wheel Independently Driven, AWID)
- 節省空間，提升機動性

圖 11 輪轂馬達(In-wheel Motor)示意圖

這張圖片介紹無人地面載具的進階驅動技術，重點說明輪轂馬達(In-wheel Electric Motor)的結構與優勢：

- 驅動型式：透過將電動馬達直接整合於輪圈內部，實現全輪獨立驅動(All-Wheel Independently Driven, AWID)。這種設計讓每個車輪都能獨立控制轉速與扭力，大幅強化載具的轉向靈活度與地形適應性。
- 技術優勢：由於省略了傳統的傳動軸與差速器等機械結構，能有效節省空間，讓底盤配置更具彈性，並同步提升機動性。

總結而言，輪轂馬達技術簡化了動力傳遞路徑，是現代高階 UGV 實現精準運動控制與空間最佳化的關鍵進階驅動(Advanced Drive) 方案。

4.3 訊號傳遞 (PWM) 與伺服機控制

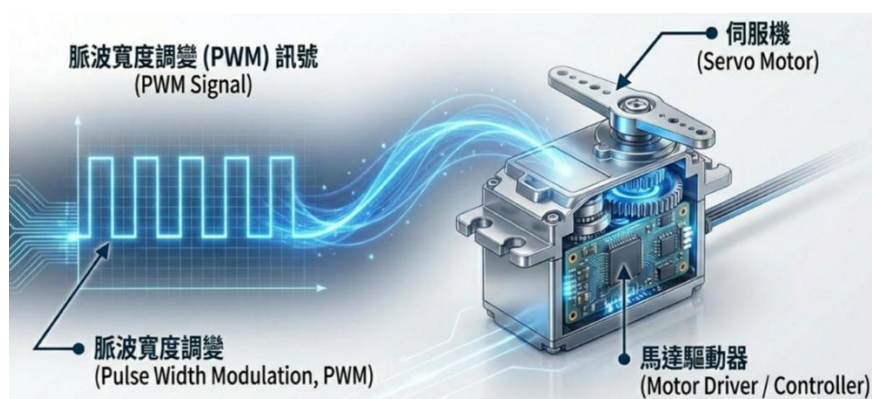


圖 12 訊號與伺服機 (Signals & Servos)示意圖

這張圖表說明無人地面載具實現精確運動控制的關鍵機制，展示了控制信號如何驅動硬體執行機構：

- 脈波寬度調變(Pulse Width Modulation, PWM)：這是一種核心控制技術，透過改變脈波寬度調變(PWM)訊號 (PWM Signal)的占空比，將數位指令轉換為可控制電壓，進而決定馬達的轉速或角度。
- 馬達驅動器(Motor Driver / Controller)：作為指令與動力的橋樑，接收訊號後精確調節電流，驅動電機運作。
- 伺服機(Servo Motor)：整合了馬達、感測器與控制電路，能根據接收到的 PWM 訊號，精確定位旋轉角度。

總結來說，透過將數位訊號(Digital Signals)轉化為機械動作，訊號與伺服機(Signals & Servos) 的協作使載具能完成轉向、抓取等需要高度精準度的物理作業。

4.4 循跡控制(TCS)與動態扭力分配



圖 13 循跡控制(Traction Control)與抓地力(Grip)示意圖

這張圖說明無人地面載具在惡劣地形行駛時，提升穩定性與安全性的關鍵技術：

- 打滑(Slipping)：當載具行經泥濘或鬆軟地面時，若輪胎輸出的動力超過地面能提供的摩擦力，便會發生空轉現象，導致失去抓地力 (Grip)並偏離路徑。
- 循跡控制系統(Traction Control System, TCS)：當系統偵測到驅動輪空轉時，會自動啟動並介入。透過調節馬達動力輸出或對打滑輪胎施加制動力，使系統進入循跡控制啟動(TCS Active) 狀態。

總結而言，TCS 的介入能有效防止輪胎打滑，確保載具在各種路況下仍能維持強健的動力傳遞與精準的行進方向。

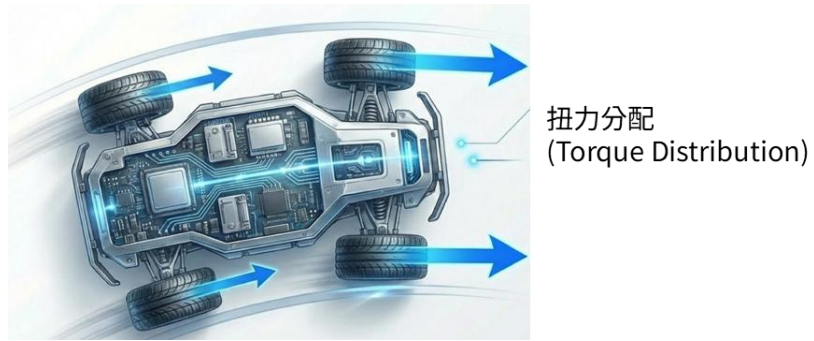


圖 14 動態扭力(Torque)分配示意圖

圖中說明無人地面載具在轉彎或應對複雜路面時，維持操控穩定性的關鍵機制：

- 扭力分配(Torque Distribution)：這是一種主動安全技術，系統會根據感測器回傳的車速、轉向角度及地面摩擦力，即時計算並分配每個驅動輪所需的動力。
- 動態調整機制：當載具進行轉彎時，外側車輪通常需要較大的扭力以維持路徑，而內側車輪則相對減少。透過精確的動態扭力(Dynamic Torque) 控制，能有效減少轉向不足或過度的情況。
- 效能優化：良好的分配機制不僅能提升抓地力(Grip)，還能防止特定車輪無謂的空轉，進而優化整體能源效率。

第五章：環境感知、定位與資料融合

若要讓載具在複雜多變的環境中自主穿梭，敏銳的「五官」與精確的空間認知不可或缺。本章匯集了 UGV 感知世界的關鍵硬體與軟體詞彙，包括光達與雷達的距離測繪、立體與熱成像相機的視覺感知，以及 GNSS 與 IMU 的定位姿態感測。更重要的是，本章涵蓋了將多重感測器資料整合的核心演算法(如擴展卡爾曼濾波、粒子濾波)，協助讀者理解載具如何建構出可靠的現實世界數位模型。

5.1 距離與測繪感知

環境感測器：距離與測繪

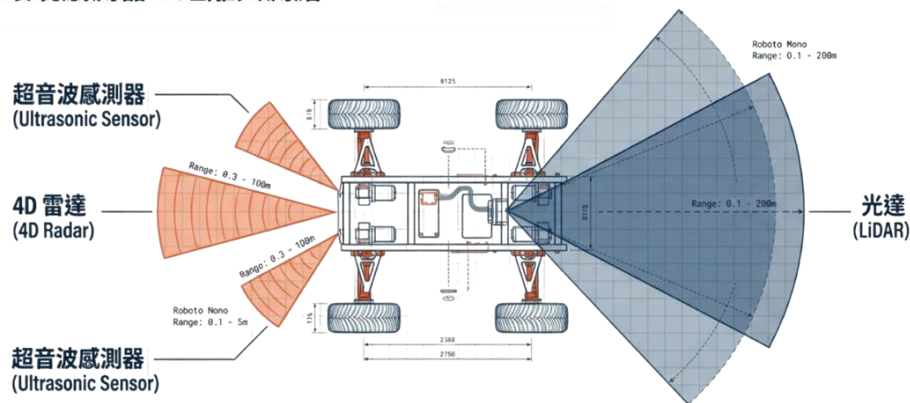


圖 15 距離與測繪感知系統示意圖

這張圖展示無人地面載具的距離與測繪感知系統(Distance and Mapping Perception System)配置。系統透過多元感測器融合，達成全方位的環境偵測：

- 光達(Light Detection And Ranging, LiDAR): 安裝於前方，具備最廣的橫向視角與長達 200 公尺的偵測距離 0.1 - 200m)，負責高精細度環境建模與障礙物識別。
- 4D 雷達(4D Radar): 位於後方中心，偵測距離達 100 公尺(0.3 - 100m)，優點在於能穿透惡劣氣候，並同時測量目標的距離、速度及俯仰角。
- 超音波感測器(Ultrasonic Sensor): 配置於後方兩側，針對極近距離(0.1 - 5m)進行精準監測，主要用於低速下的自動泊車輔助(Automatic Parking Assist)與盲點偵測。

本配置圖呈現了如何利用各感測器在偵測距離與視角上的技術互補，構建車輛的情境感知(Situational Awareness)，以提升整體行駛安全性。

5.2 視覺感知系統

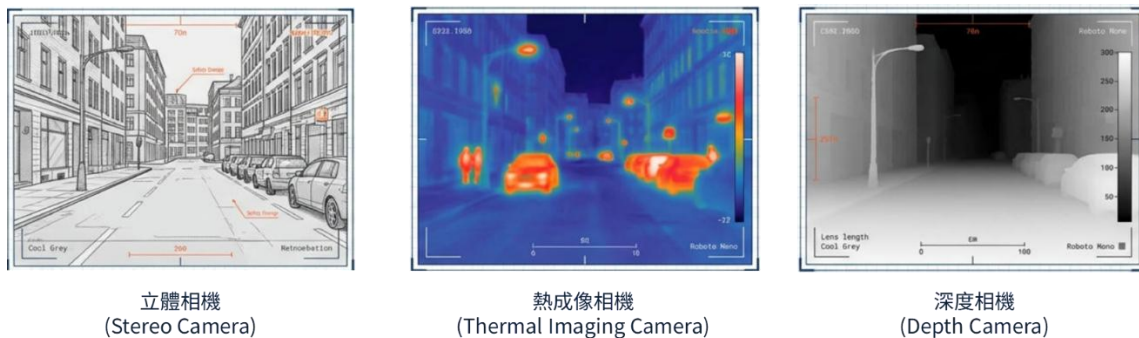


圖 16 視覺感知系統示意圖

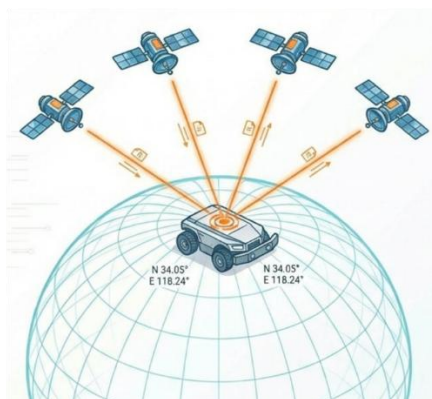
這張圖片展示無人地面載具常用的三種視覺感測技術，透過不同維度捕捉環境資訊：

- 立體相機(Stereo Camera): 利用兩個或多個鏡頭模擬人類雙眼視覺，透過視差計算物體的距離與空間結構，提供高解析度的彩色或灰階影像。
- 熱成像相機(Thermal Imaging Camera): 偵測物體輻射出的紅外線能量，並將溫差轉化為影像。其優勢在於不受光照影響，能於全黑環境或惡劣天氣中精確辨識具有熱能的目標，如行人或動物。
- 深度相機(Depth Camera): 專門量測場景中各點與感測器間的距離，通常生成深度圖(Depth Map)。透過灰階深淺代表距離遠近，協助系統進行精確的障礙物偵測與環境建模。

這三種感測器相輔相成，建構出具備冗餘性(Redundancy)且全天候運行的環境辨識能力。

5.3 定位與姿態感測

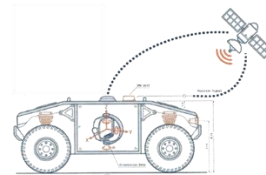
全球導航衛星系統
(Global Navigation Satellite System, GNSS)
全球定位系統
(Global Positioning System, GPS)



慣性與航向 (Inertia & Heading)

慣性測量單元 (IMU)

- 核心元件：加速度計 (Accelerometer) + 陀螺儀(Gyroscope)
- 功能：量測線性加速度與角速度，推算航向與姿態。



電子羅盤 (Electronic Compass)

- 功能：利用地磁場判定載具相對於磁北的方位角。



圖 17 定位與姿態感測示意圖

這張圖展示無人地面載具中關鍵的定位與姿態感測(Positioning and Attitude Sensing) 技術，主要由三大模組構成：

- 全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)：包含常見的全球定位系統(Global Positioning System, GPS)，透過接收多顆衛星訊號，提供載具在地球表面的絕對座標(經緯度)。
- 慣性測量單元(Inertial Measurement Unit, IMU)：由加速度計(Accelerometer)與陀螺儀(Gyroscope)組成。其功能是量測線速度與角速度變化，藉此推算載具的即時航向 (Heading)與移動姿態，在衛星訊號微弱時(如隧道中)提供關鍵的航位推算。
- 電子羅盤(Electronic Compass)：利用感測地磁場來判定載具相對於磁北的方位角(Azimuth)，輔助校正導航方向。

透過這套系統，載具能整合外部衛星資訊與內部慣性數據，實現高精度的動態導航與環境定位。

5.4 多感測器資料融合與核心定位演算法

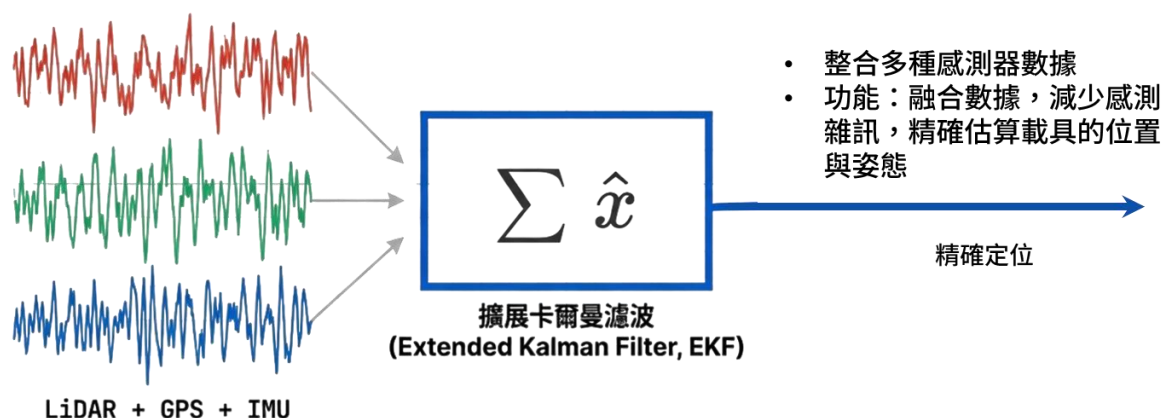


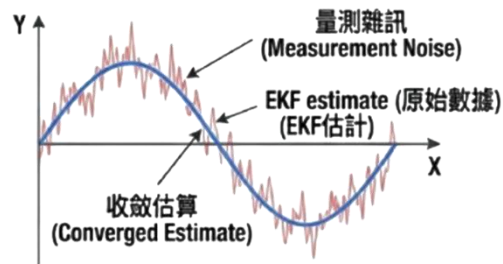
圖 18 資料融合 (Data Fusion) 示意圖

這張圖片說明無人地面載具的資料融合(Data Fusion)技術，該技術在整合來自多種感測器的原始數據，以彌補單一硬體的侷限性。

- 多感測器輸入：系統同時接收來自光達(Light Detection and Ranging, LiDAR)、全球定位系統(Global Positioning System, GPS)與慣性測量單元(Inertial Measurement Unit, IMU)的訊號。
- 演算法處理：圖中核心為擴展卡爾曼濾波(Extended Kalman Filter, EKF)，這是一種強大的數學演算法，專門用於處理非線性系統。它的主要功能是過濾各感測器產生的雜訊(Noise)與誤差。
- 最終輸出：透過數據的權重融合，系統能精確估算載具的即時位置與運動狀態，從而實現穩定的精確定位(Precise Positioning)。

這種機制確保了導航系統在複雜環境中仍能維持高可靠度與系統的穩健性(Robustness)。

擴展卡爾曼濾波 (Extended Kalman Filter, EKF)



粒子濾波 (Particle Filter)

- 適用：非線性、非高斯系統。
- 應用：室內定位與複雜地圖比對。

圖 19 核心演算法(Core Algorithms)示意圖

這張圖展示定位系統中的兩種核心演算法(Core Algorithms) 及其運作原理：

- 擴展卡爾曼濾波(Extended Kalman Filter, EKF): 上方的函數圖形呈現了演算法處理數據的過程。紅色劇烈波動的線條代表含有偏差的量測雜訊 (Measurement Noise)，而藍色平滑曲線則是經過 EKF 估計(EKF Estimate) 後的結果。透過數學預測與修正，演算法能產出收斂估算 (Converged Estimate)，將原始數據中的不確定性降至最低。
- 粒子濾波(Particle Filter): 下方的文字說明了另一種強大的演算法。不同於 EKF，它特別適用於更為複雜的非線性 (Non-linear) 與非高斯系統(Non-Gaussian System)。這類技術常應用於導航環境多變的室內定位(Indoor Positioning) 以及高精度的複雜地圖比對(Complex Map Matching)。

這兩類演算法是確保無人系統在充滿干擾的環境下，仍能獲得精確狀態資訊的技術基石。

第六章：系統控制架構與任務規劃

擁有強大的感知能力後，載具更需要清晰的「大腦」來下達正確指令。本章專注於 UGV 的系統控制邏輯與任務規劃策略。透過探討層次化控制架構(涵蓋決策、執行與反應層)，以及從全域路徑規劃、區域動態避障到姿態穩定的階層控制任務，本章的詞彙將幫助軟體演算法工程師與系統架構師，精確描述載具從思考到行動的完整決策鏈，確保任務執行的安全與邏輯性。

6.1 層次化控制架構

控制架構：從決策到反應

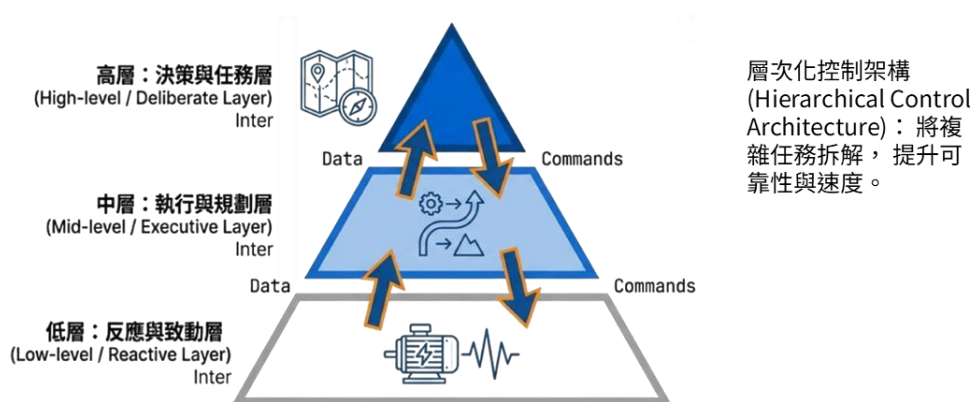


圖 20 控制架構示意圖

圖中呈現無人地面載具的層次化控制架構(Hierarchical Control Architecture)，說明系統如何將複雜任務拆解為不同層級的處理邏輯，以實現「從決策到反應」的自動化流程：

- 高層：決策與任務層(High-level / Deliberate Layer)：作為系統的大腦，負責長期目標規劃、地圖分析與複雜任務指派。
- 中層：執行與規劃層(Mid-level / Executive Layer)：負責將高層指令轉化為具體的行動方案，例如路徑規劃(Path Planning)與避障策略，並在各層級間傳遞數據與指令。
- 低層：反應與致動層(Low-level / Reactive Layer)：直接對接硬體，負責感測器的即時回饋與馬達、致動器的精確控制，確保載具能針對突發環境變化做出即時反應。

這種金字塔型架構能有效提升系統的可靠性(Reliability)與處理速度(Processing Speed)，使無人載具在執行任務時更具效率與安全性。

6.2 階層控制任務

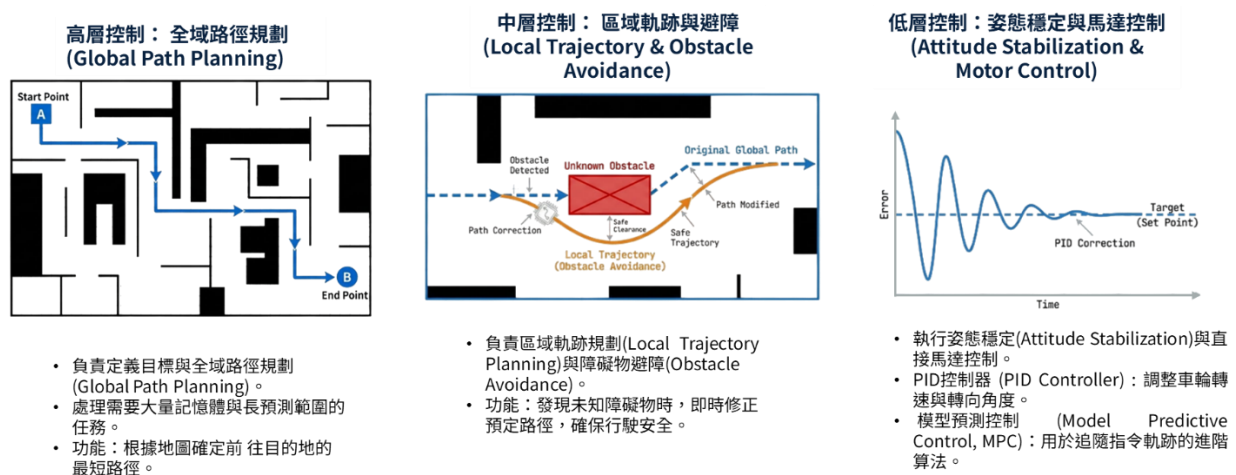


圖 21 階層控制任務示意圖

這張圖表詳述無人地面載具在執行任務時的階層控制任務(Hierarchical Control Tasks)架構，說明系統如何處理不同維度的環境資訊：

- 高層控制：全域路徑規劃(Global Path Planning)：系統的大腦，負責定義長程目標。它處理需要大量記憶體與長預測範圍的任務，根據已知地圖確定從起點到終點的最短路徑。
- 中層控制：區域軌跡與避障(Local Trajectory & Obstacle Avoidance)：當感測器發現未知障礙物時，系統會即時修正路徑，規劃出區域軌跡(Local Trajectory)，確保行駛安全。
- 低層控制：姿態穩定與馬達控制(Attitude Stabilization & Motor Control)：負責最基礎的物理反應。透過 PID 控制器(PID Controller)調整轉速與轉向角，並利用模型預測控制(Model Predictive Control, MPC)等進階算法，確保載具精準追隨指令軌跡。

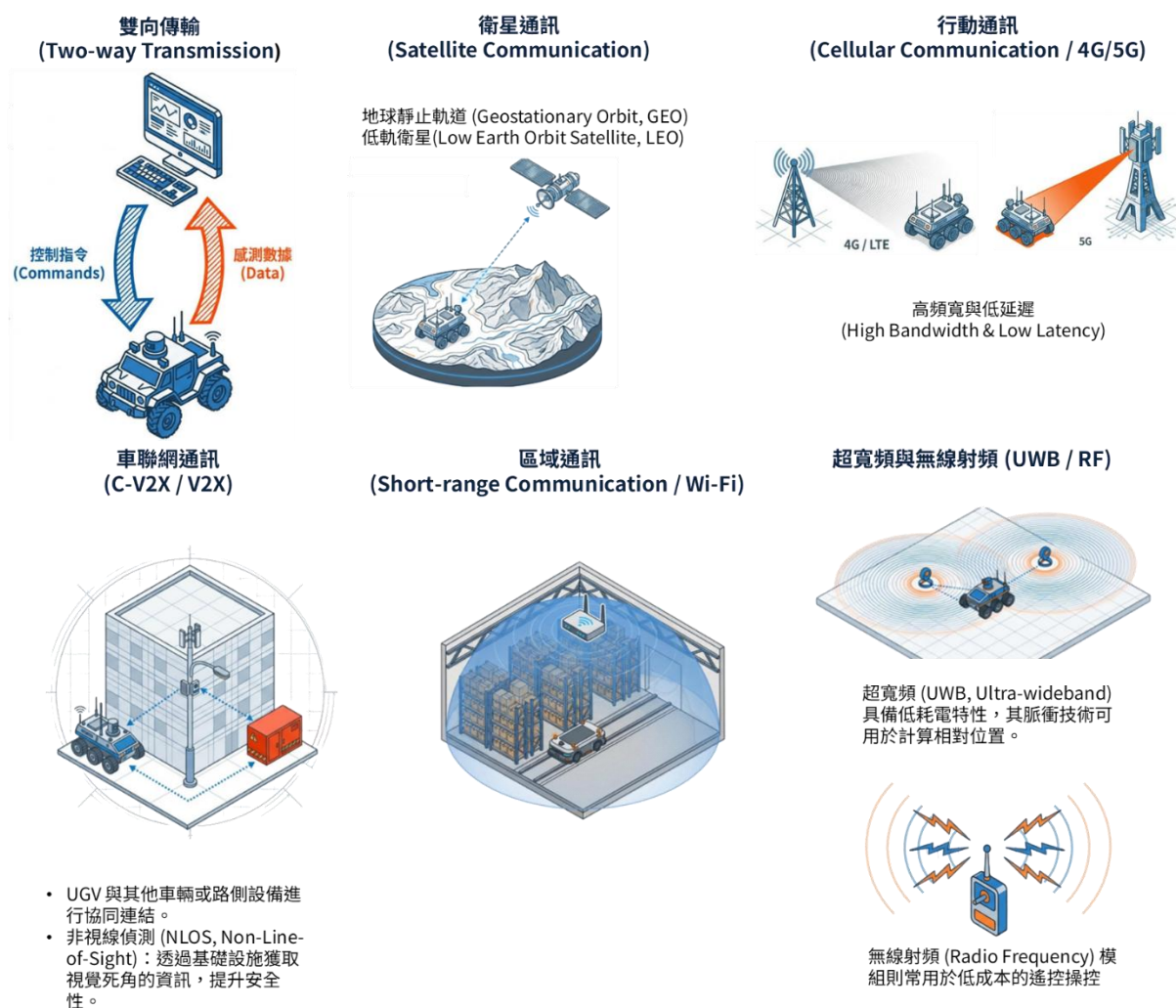
透過這三層任務的協作，載具能兼顧長遠導航與即時避障，維持運行的穩定與精確。

第七章：通訊系統與遠端指揮

在現代無人載具的應用中，穩定可靠的資訊鏈路是確保任務達成與遠端協同的基礎。本章整理了載具內部次系統間，以及載具與外部網路交換數據的通訊架構與應急機制。內容收錄了 ROS 與 MAVLink 等核心通訊協定，並詳細介紹地面指揮站(GCS)與人機互動的介面術語。透過這些詞彙，從業人員能深入了解如何構築一張無縫的資訊網，實現高效的遠端監控與指揮體系。

7.1 內外部多層次通訊架構與應急機制

負責在載具、操作員、其他機器人與基礎設施之間傳遞控制指令及感測數據。



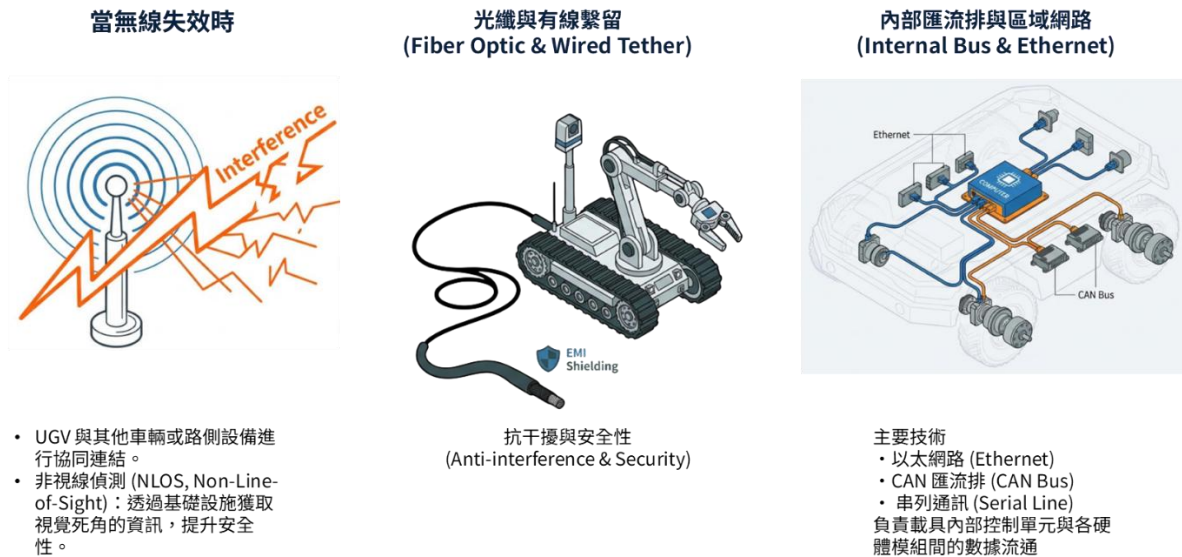


圖 22 通訊系統(Communication System)示意圖

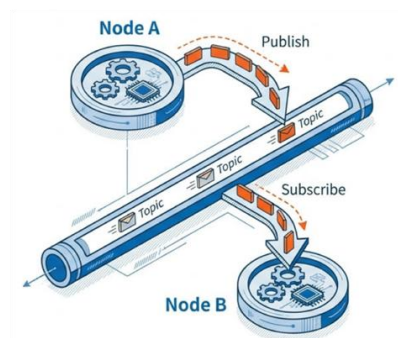
這張圖詳盡解析無人地面載具的通訊系統(Communication System) 架構，涵蓋了從遠程傳輸到內部組件溝通的多層次技術：

- 外部與無線通訊：透過雙向傳輸(Two-way Transmission)交換控制指令與感測數據。包含利用低軌衛星(Low Earth Orbit Satellite, LEO) 的衛星通訊(Satellite Communication)、具備高頻寬與低延遲特性的行動通訊(Cellular Communication, 4G/5G)，以及實現車聯網協作的 C-V2X/V2X 技術。針對短距離環境，則應用 Wi-Fi、超寬頻(Ultra-wideband, UWB)進行精確定位，或透過無線射頻(Radio Frequency, RF) 進行低成本遙控。
- 可靠性與應急機制：當發生訊號干擾導致無線失效時，系統可切換至光纖與有線繫留(Fiber Optic & Wired Tether)模式，確保在強電磁干擾下的抗干擾與安全性(Anti-interference & Security)。
- 內部架構：載具核心仰賴內部匯流排與區域網路(Internal Bus & Ethernet) 進行數據流通，主要技術包括高效能的乙太網路 (Ethernet)與車用工業標準 CAN 匯流排(Controller Area Network, CAN Bus)，負責各硬體模組間的即時指令傳遞。

這套多元的通訊矩陣確保了載具在非視線偵測(Non-Line-of-Sight, NLOS) 與各類複雜場景下的穩定運行。

7.2 核心通訊協定與訊息交換

訊息交換規則(Rules of Message Exchange)



- MAVLink: 常見於控制器間的輕量化訊息交換協定。
- ROS (Robot Operating System):
 - 採用節點 (Nodes) 架構。
 - 透過發佈/訂閱(Publish/Subscribe) 機制實現數據流通。

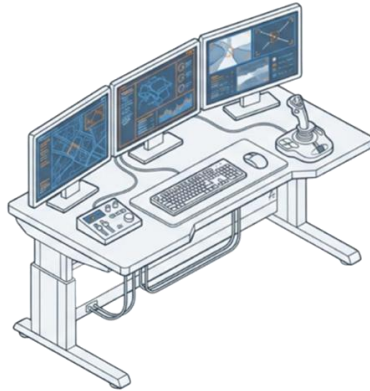
圖 23 通訊協定(Communication Protocols)示意圖

這張圖展示無人地面載具系統中核心的通訊協定(Communication Protocols)架構，特別是訊息交換規則(Rules of Message Exchange)的運作機制：

- ROS(Robot Operating System)：該系統採用節點(Nodes)架構，將不同功能模組化。圖中的 Node A 與 Node B 透過發佈/訂閱(Publish/Subscribe)機制進行溝通。
- 主題(Topic)：訊息傳遞的通道。Node A 作為發佈者將資訊傳送到特定主題，而 Node B 則透過訂閱該主題來接收數據，實現了軟體組件間的解耦(Decoupling)。
- MAVLink (Micro Air Vehicle Link)：圖中提及這是一種常見於控制器間的輕量化訊息交換協定 (Lightweight Message Exchange Protocol)，廣泛應用於無人機與地面站之間的通訊。

這種架構確保了複雜系統中各個子系統能以高效、標準化的方式實現數據流通(Data Flow)，是現代自動化載具開發的基礎技術。

7.3 地面指揮站 (GCS) 與人機互動



- 組成 (Composition) :
工作站 (Workstation) 或手持遙控器(Remote Controller)。
- 配備 (Equipment) :
視訊顯示器與搖桿。
- 目的(Purpose) :
讓操作員即時監控 UGV 狀態並在必要時進行手動介入。

圖 24 地面指揮站(Ground Command Station, GCS)示意圖

這張圖呈現無人地面載具系統中的地面指揮站(Ground Command Station, GCS)架構，是人機互動與任務監控的核心樞紐：

- 系統組成(Composition): 通常由高運算能力的工作站(Workstation) 或具備機動性的手持遙控器(Remote Controller)所構成。
- 硬體配備(Equipment): 包含多個視訊顯示器(Visual Displays)以呈現多維度的感測數據，並配備搖桿(Joystick)與鍵盤，供操作員進行精確的導航控制。
- 核心目的(Purpose): 其主要功能在於讓操作員能即時監控(Real-time Monitoring)無人地面載具(UGV)的運行狀態、環境影像及系統參數。在自動駕駛遇到複雜狀況或需執行特殊任務時，提供手動介入(Manual Intervention)的能力。

透過 GCS，後端人員能與前端載具保持穩定的連線，確保任務執行的安全與準確性。

第八章：實際產業應用

技術的最終價值在於解決真實世界的問題。本手冊的最終章將視角轉向 UGV 的實務落地場景。我們精選了軍事與農業兩大指標性應用領域，收錄了情報偵測、火力支援、後勤補給，以及溫室監測、果園測繪與自動化作業等情境的專業術語。這些詞彙不僅勾勒出無人地面載具當前的商業與國防價值，更為未來的跨領域應用與國際市場推廣提供了最直接的語彙支援。

8.1 軍事應用

情報監視偵查與防護 (Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance, ISR & Protection)

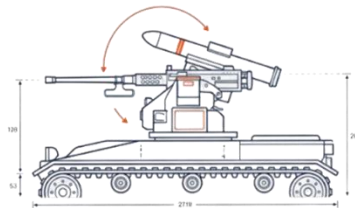
- 在惡劣環境中進行情報蒐集、偵查與監視。
- 爆炸物處理 (Explosive Ordnance Disposal, EOD)
- 清除地雷、路邊炸彈或簡易爆炸裝置 (Improvised Explosive Device, IED)。



有效降低人員風險

火力支援與戰鬥 (Fire Support)

- 搭載機槍或反戰車飛彈，協同步兵攻堅或防衛。



後勤補給與救護 (Logistics & Medevac)

- 在敵火下運送彈藥、醫療物資，或執行傷患後送任務。

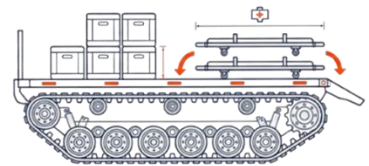


圖 25 軍事應用 (Military Applications) 示意圖

這張圖說明無人地面載具在軍事應用(Military Applications)中的三大核心面向，旨在透過自動化技術有效降低人員傷亡風險：

- 情報監視偵查與防護(Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance, ISR & Protection)：載具能深入惡劣環境蒐集情資，並執行爆炸物處理(Explosive Ordnance Disposal, EOD)，如清除地雷或簡易爆炸裝置(Improvised Explosive Device, IED)。
- 火力支援與戰鬥(Fire Support)：透過搭載機槍或反戰車飛彈，載具能協同地面部隊進行攻堅或防衛任務，提供精確的火力支援。
- 後勤補給與救護(Logistics & Medevac)：在敵火威脅下負責運送彈藥與醫療物資，或執行傷患後送任務。

這些應用展現了機器人系統如何轉化現代戰場的運作模式，將高風險任務轉由遠端操控(Remote Control) 或自主平台承擔。

8.2 農業應用

- 溫室監測 (Greenhouse Monitoring) :
 - 測量土壤溫度與水分，繪製地圖。
- 果園地圖繪製 (Orchard Mapping) :
 - 3D重建，監測作物生長。
- 自動化作業 (Automation) :
 - 自動噴灑除草劑、採收、施肥。

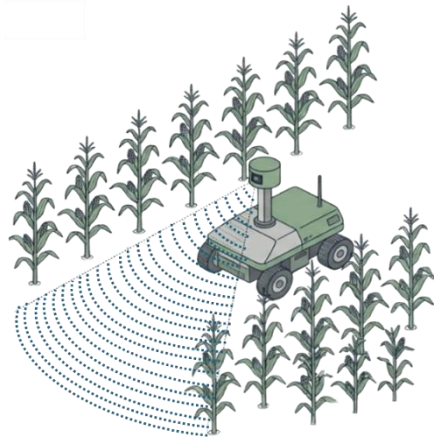


圖 26 農業應用(Agricultural Applications)示意圖

這張圖片展示無人地面載具在農業應用(Agricultural Applications)中的多元功能，體現了智慧農業的技術趨勢：

- 溫室監測(Greenhouse Monitoring)：載具能深入農場環境，精確測量土壤溫度與水分，並繪製成數據地圖，優化資源分配。
- 果園地圖繪製(Orchard Mapping)：利用感測器進行環境的 3D 重建(3D Reconstruction)，藉此長期監測作物的生長趨勢與健康狀況。
- 自動化作業(Automation)：載具可執行勞動力密集的任务，如自動噴灑除草劑、精準施肥及作物採收，顯著提升農業生產效率。

透過這些自動化(Automation)技術，農場能實現更科學化的經營管理，降低人力依賴並達成永續經營的目標。

附錄：無人地面載具產業中英文專業用語彙整表(Glossary)

產業用語	英文	中文	說明
4D Radar	4D Radar	4D 雷達	能穿透惡劣天氣，同時測量目標距離、速度及俯仰角。
Ackermann Steering	Ackermann Steering	艾克曼轉向	傳統輪式載具轉向幾何，減少轉向時的輪胎磨耗。
Automated Operations	Automated Operations	自動化作業	載具執行噴灑農藥、除草或收成等常規任務。
Autonomous Level	Autonomous Level	自主化程度	衡量載具從手動遠端遙控到完全自主執行的等級分化。
AWID	All-Wheel Independently Driven	全輪獨立驅動	每個輪子具備獨立動力源，提供極致的地形適應性。
BMS	Battery Management System	電池管理系統	負責能源儲存單元的電壓、電流監控，確保電力分配的安全與效率。
BSD	Blind Spot Detection	盲點偵測	識別載具感測死角內的物體，強化行駛安全。
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight	超視距作戰	載具在操作員視線範圍之外執行的任務模式。
Chassis	Chassis	底盤	載具的骨幹結構，承載所有感測器與動力單元。
Communication Protocols	Communication Protocols	通訊協定	定義載具內部硬體與外部基站間資料交換的規則。
Cybersecurity	Cybersecurity	資安防禦	確保 UGV 通訊協定不被駭客攔截或惡意控制。
DC Motor	DC Motor	直流馬達	透過電力產生磁場推動轉子的基礎驅動元件。
Distance and Mapping Perception	Distance and Mapping Perception	距離與測繪感知	透過感測器融合達成全方位環境偵測與建圖。
DOFs	Degrees of Freedom	自由度	描述機械手臂靈活性的參數，如 7 DOFs 可執行複雜任務。
Double Wishbone Suspension	Double Wishbone Suspension	雙橫臂懸吊	提供優異橫向剛性與地面適應力的進階懸吊設計。
Dynamic Recuperation	Dynamic Recuperation	動能回收	透過制動過程將部分動能回充至電池的能源策略。
Dynamic Torque	Dynamic Torque Vectoring	動態扭力分配	即時調整不同車輪間的扭力

Vectoring			輸出, 強化過彎與脫困能力。
Edge Computing	Edge Computing	邊緣運算	在 UGV 本機端進行 AI 影像處理, 減少回傳數據負擔。
EKF	Extended Kalman Filter	擴展卡爾曼濾波	一種多感測器資料融合核心演算法, 用於處理非線性系統的狀態估測。
Energy Supply System	Energy Supply System	能源供應系統	負責能源儲存的核心單元, 為載具運行電力之源。
Environmental Sensing	Environmental Sensing	環境感知	透過感測系統辨識周遭狀態並做出反饋的核心能力。
EOD	Explosive Ordnance Disposal	爆炸物處理	指無人載具執行排除或銷毀未爆彈 簡易爆炸裝置(IED) 等危險任務。
ESC	Electronic Speed Controller	電子調速器	用於控制馬達轉速與轉向的關鍵電路模組。
Fail-safe	Fail-safe	故障安全機制	當系統偵測到異常時, 自動進入安全狀態 (如剎車)。
Fire Support	Fire Support	火力支援	搭載武器站的 UGV, 協助部隊進行戰鬥任務。
GCS	Ground Command Station	地面指揮站	操作員監控 UGV 狀態與傳遞指令的控制中心。
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球導航衛星系統	透過多顆衛星提供的訊號來確定載具在全球範圍內的地理位置資訊。
Greenhouse Monitoring	Greenhouse Monitoring	溫室監測	農業 UGV 定期巡檢作物生長狀態與環境參數。
Ground Operation	Ground Operation	地面行駛	載具具備在陸地表面移動與運作的能力基準。
Hierarchical Control	Hierarchical Control	層次化控制	將載具控制分為決策 規劃 執行多個層級。
HRI	Human-Robot Interaction	人機互動	研究操作員如何更直覺、高效地指揮 UGV。
Hybrid Power System	Hybrid Power System	油電混合動力	結合內燃機與電池, 用於提升 UGV 長航時能力的系統。
IMU	Inertial Measurement Unit	慣性測量單元	包含加速度計與陀螺儀, 用於感測載具的運動變化及姿態 (如俯仰、翻滾)。
In-wheel Motor	In-wheel Motor	輪轂馬達	直接安裝於輪胎內部的馬

			達，可簡化傳動結構。
ISR	Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance	情報監視偵查	軍事應用核心面向，透過自動化技術進行情報蒐集、環境監視與目標偵察。
Last-mile Delivery	Last-mile Delivery	最後一哩路配送	小型 UGV 在智慧城市中執行包裹與餐點配送。
Latency	Latency	延遲	訊號從操作端傳遞至載具端所需的時間，影響操控性。
LFP Battery	Lithium Iron Phosphate Battery	磷酸鋰鐵電池	具備高穩定性的鋰電池技術，常用於 UGV 的動力能源供應。
LiDAR	Light Detection And Ranging	光達	利用雷射脈衝進行距離偵測，具備廣視角且能執行高精細度的環境建模。
Li-ion	Lithium-ion Battery	鋰離子電池	目前 UGV 廣泛採用的高能量密度二次電池技術。
Locomotion Mechanism	Locomotion Mechanism	移動機構	支撐載具位移的物理結構（如輪式、履帶式、足式）。
Logistic Resupply	Logistic Resupply	後勤補給	利用 UGV 在戰場或基地間運輸彈藥、水與補給品。
Manual Intervention	Manual Intervention	手動介入	在自動駕駛異常時，操作員透過搖桿強制控制載具。
MAVLink	Micro Air Vehicle Link	微型飛行器連結協定	UGV 通訊中常用的輕量化、點對點訊息協定。
Military Applications	Military Applications	軍事應用	利用 UGV 降低人員風險，執行偵查、後勤與支援。
Network-Centric Autonomy	Network-Centric Autonomy	網絡中心自主	載具具備聯網協同作業與分散式決策的進階能力。
No Human Onboard	No Human Onboard	不搭載人類駕駛	強調運行時車體內無需人員直接操作的自動化特性。
Nodes	Nodes	節點	ROS 架構中負責特定任務（如驅動、規劃）的小型程式。
Obstacle Avoidance	Obstacle Avoidance	避障	運動過程中即時偵測並繞過障礙物的能力。
Odometry	Odometry	里程計	透過輪圈轉數或視覺變化推算載具位移量的技術。
Orchard Mapping	Orchard Mapping	果園測繪	利用光達建立果園地形與樹木分布的高精地圖。
Particle Filter	Particle Filter	粒子濾波	在不確定性高的環境中，進

			行非線性狀態估測的演算法。
Path Planning	Path Planning	路徑規劃	在地圖中尋找從起點到終點的最優可行路線。
Payload	Payload	酬載 / 載重	載具底盤之外，能搭載執行任務設備的重量能力。
Physical Kinetic Energy	Physical Kinetic Energy	物理動能	動力系統最終轉換產出的機械能，驅動載具前進。
Point Cloud	Point Cloud	點雲數據	光達產出的海量座標點，構成物體的數位 3D 形狀。
Power Management and Conversion	Power Management and Conversion	電能管理與轉換	負責確保電壓分配安全與效率的中間處理單元。
Powertrain System	Powertrain System	動力系統架構	包含能源儲存、電能管理與驅動馬達的完整流程。
Publish / Subscribe	Publish / Subscribe	發佈與訂閱機制	ROS 節點間進行訊息交換的異步通訊方式。
PWM	Pulse Width Modulation	脈衝寬度調變	一種訊號傳遞技術，透過調整脈衝波的寬度來控制馬達或伺服機的運作。
Real-time Monitoring	Real-time Monitoring	即時監控	透過 GCS 呈現 UGV 的感測數據與影像資料。
Robotic Arm / Manipulator	Robotic Arm / Manipulator	作業機械手臂	UGV 上用於抓取、維修或排除障礙的執行機構。
ROS	Robot Operating System	機器人作業系統	全球最主流的機器人開發架構，採模組化設計。
RTK	Real-Time Kinematic	即時動態定位	透過地面基準站補償 GNSS 誤差，達成公分級定位。
SAR	Search and Rescue	搜索與救援	在災難現場利用 UGV 進入危險區域尋找生還者。
Sensor Fusion	Sensor Fusion	感測器融合	整合多個感測器資訊以補足單一感測器缺陷的技術。
Servo Control	Servo Control	伺服控制	針對載具轉向或機械手臂角度進行精確控制的技術。
Situational Awareness	Situational Awareness	情境覺知	載具理解周遭動態威脅與地形限制的綜合能力。
Skid-steer	Skid-steer	滑移轉向	透過左右輪/履帶速差來達成轉向的技術（如戰車）。
SLAM	Simultaneous Localization	即時定位與建圖	載具在未知環境中邊移動邊

	and Mapping		建立地圖並定位的關鍵技術。
Stereo Camera	Stereo Camera	立體視覺相機	模擬人眼雙目視覺，用於取得環境深度資訊。
Suspension System	Suspension System	懸吊系統	連結底盤與移動機構，負責緩震與支撐負重的結構。
Swarm Robotics	Swarm Robotics	群體機器人	多台 UGV 協同合作，如同蜂群般執行大面積搜索任務。
TCS	Traction Control System	循跡控制系統	用於控制輪胎的抓地力與防止打滑，並執行主動式動態扭力分配。
Teleoperation	Teleoperation	遠端操作	透過無線網路進行視距外或超視距的手動操控。
Thermal Imaging	Thermal Imaging	熱成像	在無光或煙霧環境下，透過熱輻射偵測目標。
Topic	Topic	主題	節點間交換訊息的特定命名頻道。
Trajectory Tracking	Trajectory Tracking	軌跡追蹤	控制載具精確跟隨規劃好的空間與時間路徑。
Transmission Mechanism	Transmission Mechanism	傳動變速機構	將馬達輸出的扭力調整並傳遞至輪胎的組件。
UGV	Unmanned Ground Vehicle	無人地面載具	在地面行駛，具備自主或遠端作業能力，且不搭載人類駕駛員的機械設備。
Ultrasonic Sensor	Ultrasonic Sensor	超音波感測器	用於短距離障礙物識別與自動停車輔助。
Visual Displays	Visual Displays	視訊顯示器	GCS 上呈現多維度數據與環境影像的螢幕。
Visual Perception System	Visual Perception System	視覺感知系統	利用攝像頭陣列進行物體辨識與語義分割。