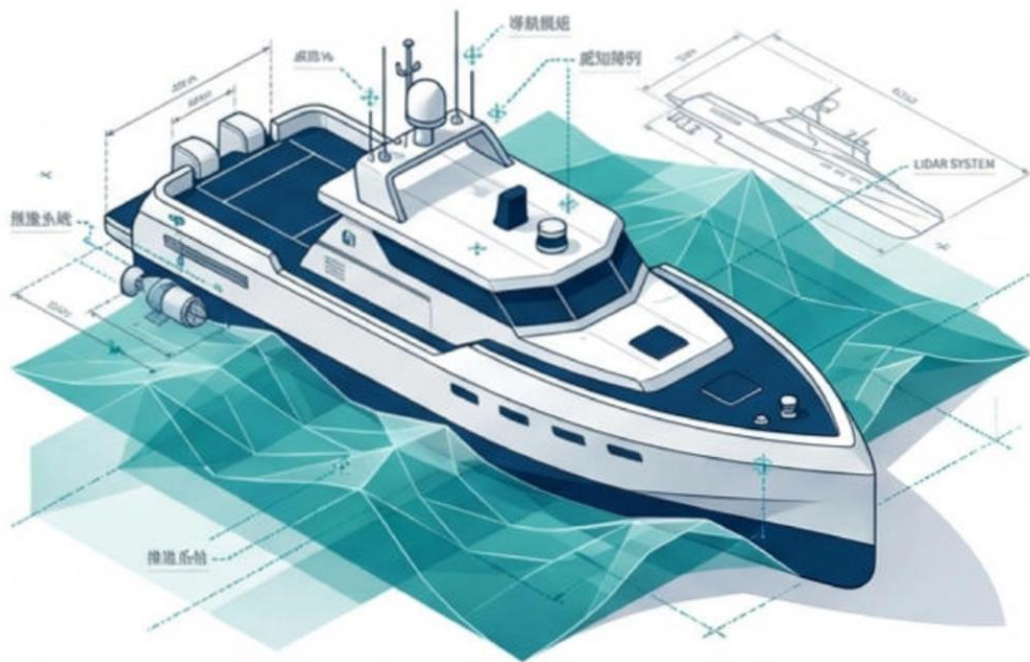


產業用語指引手冊

無人載具—水面篇

(Unmanned Surface Vehicle, USV)



國立成功大學
雙語教育推動辦公室

序言(Preface)

隨著智慧海洋科技的快速發展，無人船 (Unmanned Ship) 與海上自主水面船舶 (Maritime Autonomous Surface Ships, MASS) 已成為全球航海技術變革的核心。這些能在水面獨立運行、無須人員在船操控的載具，正透過高度的智慧化與自主化，重新定義海洋探勘、運輸與防衛的範疇。

本手冊由國立成功大學雙語教育推動辦公室編撰，旨在為學子及相關從業人員提供一套完整的中英雙語產業專業術語教材。透過系統化的術語整合，協助讀者掌握國際通用的產業語言，進而鳥瞰無人船技術的整體脈絡，為後續深入學習硬體工程與軟體演算法奠定堅實基礎。

手冊內容涵蓋了無人船自主運作的七大核心子系統：從物理層級的船體結構 (Ship Hull) 與驅動核心的動力與推進系統 (Power and Propulsion System)，到負責環境辨識的感測與感知系統 (Sensing and Perception System) 及其核心的資料融合 (Data Fusion) 技術。此外，手冊亦深入剖析了作為決策大腦的中央控制系統，包含路徑規劃 (Path Planning)、符合國際規則 (COLREGS) 的自動化避碰 (Collision Avoidance) 機制，以及維持遠端監控的通信鏈路 (Communication Links)。

在應用層面上，本手冊展示了無人船如何執行高難度的完全自主化任務 (如釐米級的精準自主靠泊 Autonomous Berthing)，並詳述其在軍事領域的情報偵察與科學研究中的水文調查等多元應用場景。

誠摯希望本指引手冊能成為讀者進入無人載具產業的橋樑，透過精確的中英專業術語對接，提升在全球智慧海運趨勢下的技術競爭力與前瞻視野。

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：緒論與系統架構總覽	1
1.1 無人船技術與定義範疇	1
1.2 系統架構總覽	2
第二章：基礎硬體、動力與推進技術	3
2.1 船體結構與材料選擇	3
2.2 動力來源與前瞻能源	4
2.3 核心推進裝置與傳導機構	5
第三章：環境感知與資料融合	7
3.1 態勢感知架構	7
3.2 本體感測技術	8
3.3 外部感測技術	10
3.4 資料融合與估測	12
第四章：導航決策、控制與通信系統	13
4.1 導航系統與決策控制	13
4.2 路徑規劃與避碰機制	15
4.3 誤差控制機制與任務模式	17
4.4 通信鏈路與岸基監控：	18
第五章：任務載荷與多元應用場景	20
5.1 完全自主化任務	20
5.2 軍事領域戰略應用	21
5.3 科學研究與環境應用	21
無人船產業中英文專業用語彙整表(Glossary)	23

第一章：緒論與系統架構總覽

本章作為全書的先導，旨在建立讀者對無人船（USV）與海上自主水面船舶（MASS）的基礎認知。內容將從無人船的核心定義出發，探討其在現代智慧海洋科技中的定位，並宏觀地展示無人船自主運作的七大核心子系統架構。透過本章的系統總覽，讀者將能鳥瞰無人船技術的整體脈絡，為後續深入學習各項硬體工程與軟體演算法奠定堅實的基礎。

1.1 無人船技術與定義範疇

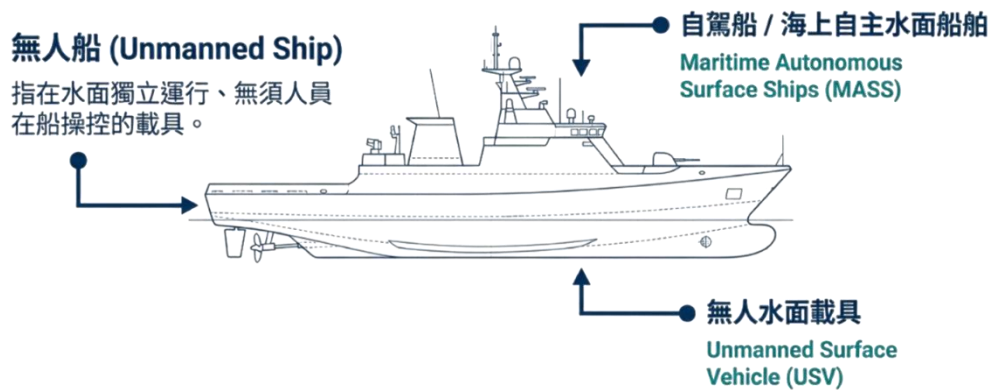


圖 1 無人船(Unmanned Surface Vehicle, USV)定義示意圖

圖中涵蓋三大關鍵概念：首先是無人船(Unmanned Ship)，定義為在水面獨立運行且無需人員在船操作的載具；其次是海上自主水面船舶(Maritime Autonomous Surface Ships, MASS)，強調船舶的自主化與智慧化程度；最後是廣泛統稱的無人水面載具(Unmanned Surface Vehicle, USV)。本圖旨在透過視覺化呈現，界定現代自駕船舶在不同情境下的技術術語與定義範疇。

1.2 系統架構總覽

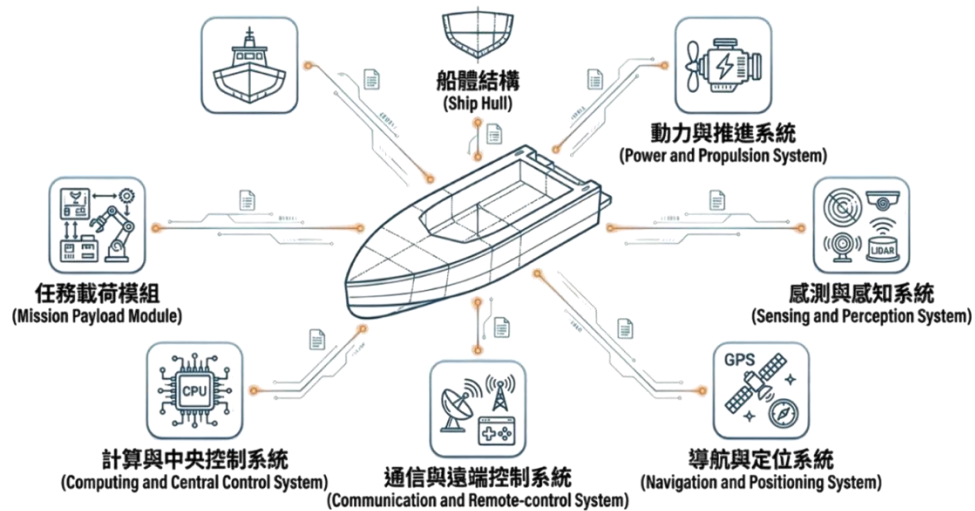


圖 2 系統架構總覽 (System Architecture Overview)定義示意圖

圖中詳列無人船(USV)自主運作的七大核心子系統：

- 基礎硬體：包含基本的船體結構(Ship Hull) 與驅動核心動力與推進系統(Power and Propulsion System)。
- 環境感知與定位：透過感測與感知系統(Sensing and Perception System)辨識環境，並結合導航與定位系統(Navigation and Positioning System) 確保航行精準度。
- 控制與通信：由計算與中央控制系統(Computing and Central Control System)擔任決策大腦，並透過通信與遠端控制系統(Communication and Remote-control System)實現數據傳輸。
- 功能執行：任務載荷模組(Mission Payload Module)則依據特定任務需求配置相對應的作業設備。

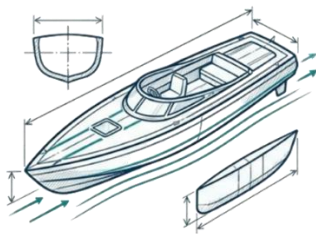
透過這些模組的整合，無人船得以實現高度自動化的水上任務。

第二章：基礎硬體、動力與推進技術

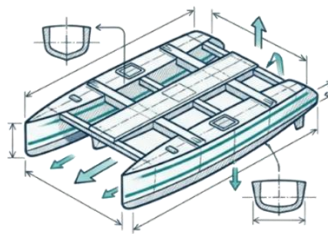
任何先進的自動化系統皆仰賴穩固的物理實體。本章將帶領讀者深入無人船的「軀幹」與「心臟」，探討不同任務需求下的船體結構設計與輕量化材料選擇。同時，我們將全面解析推動載具前進的動力與推進系統，從傳統的柴油引擎到前瞻的混合動力與再生能源應用，以及螺旋槳、噴水推進與全向推進等關鍵推進裝置，展現無人船在硬體工程上的多樣性與技術突破。

2.1 船體結構與材料選擇

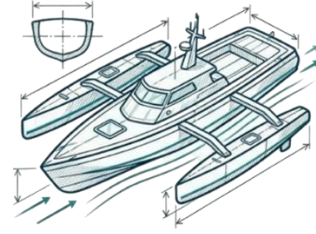
提供浮力並承載所有硬體設備



**單船體
(Monohull)**
製造成本低，結構簡單



**雙船體
(Catamaran)**
高穩定性、高載重、低阻力



**三船體
(Trimaran)**
極佳穩定性，耐惡劣海象

材料 (Materials)

- 碳纖維 (Carbon fiber)
- 鋁合金 (Aluminum alloy)
- 鈦合金 (Titanium alloy)

圖 3 船體結構(Ship Hull)示意圖

圖中說明無人船(USV)三種主要的船體結構(Ship Hull) 設計，其核心功能在於提供浮力(Buoyancy)並承載所有硬體設備。

根據設計特性與應用需求，船體分為以下三類：

1. 單船體(Monohull)：擁有結構簡單(Simple structure)與製造成本低(Low manufacturing cost)的經濟優勢。
2. 雙船體(Catamaran)：具備高穩定性(High stability)、高載重(High payload)與低阻力(Low resistance) 的物理特性。
3. 三船體(Trimaran)：展現極佳穩定性(Excellent stability)，特別適用於應對惡劣海象(Rough sea states)。

在材料(Materials)選擇方面，為了兼顧結構強度與輕量化，主要採用碳纖維(Carbon fiber)、鋁合金(Aluminum alloy)及鈦合金(Titanium alloy)。這些先進材料能有效提升航行效率，確保船隻在不同海域環境下的作業性能。

2.2 動力來源與前瞻能源

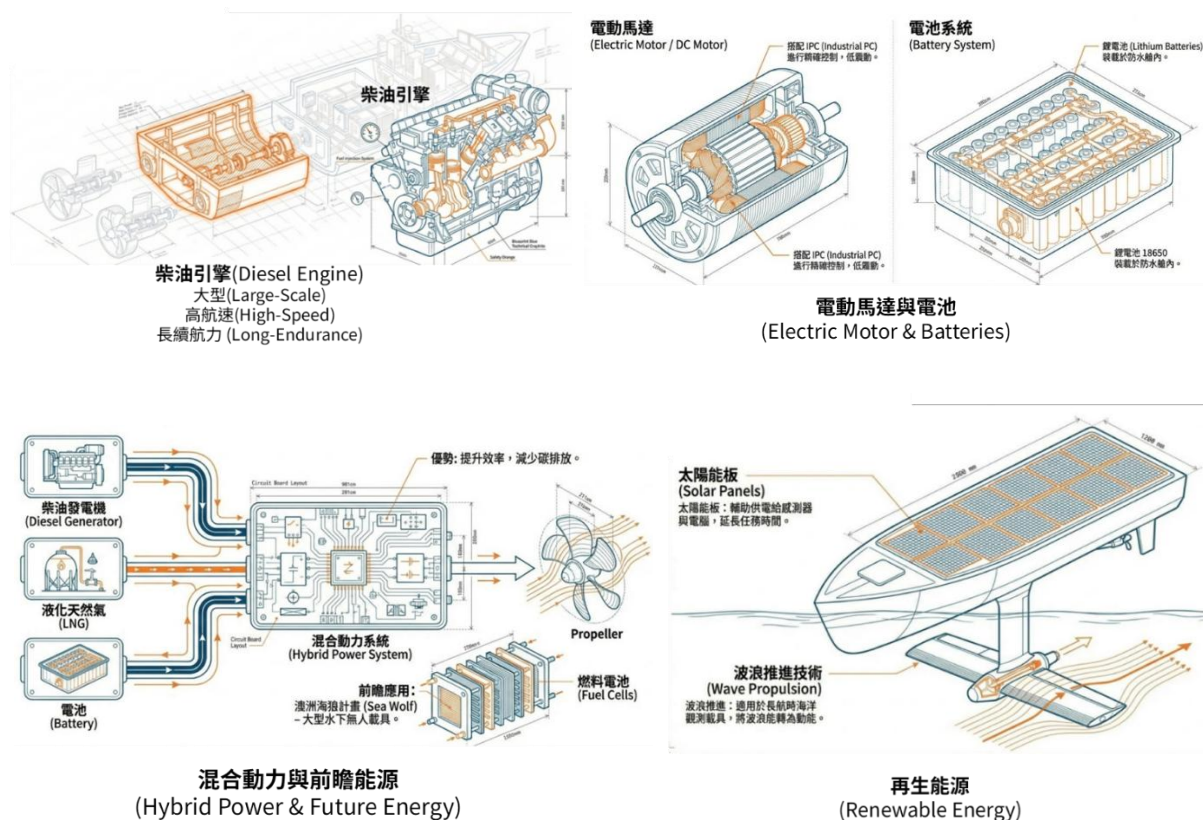


圖 4 動力來源(Power Source)示意圖

圖中概述了船舶與無人船(USV)的多樣化動力來源(Power Source), 從傳統能源延伸至前瞻技術:

- 柴油引擎(Diesel Engine): 適用於大型化(Large-scale)載具, 具備高航速(High-speed)與長續航力(Long-endurance) 的特性。
- 電動馬達與電池(Electric Motor & Batteries): 由直流馬達(DC Motor)與搭載鋰電池(Lithium Batteries)的電池系統(Battery System)組成, 提供潔淨的動力輸出。
- 混合動力與前瞻能源(Hybrid Power & Future Energy): 混合動力系統(Hybrid Power System)整合了柴油發電機(Diesel Generator)、液化天然氣(LNG)與燃料電池(Fuel Cells), 用以驅動螺旋槳(Propeller)。此配置能有效提升效率並減少碳排放, 已應用於「海狼號」(Sea Wolf) 等大型無人載具。
- 再生能源(Renewable Energy): 包含提供輔助電力的太陽能板(Solar Panels), 以及將動能轉化為推進力的波浪推進技術(Wave Propulsion), 專為長時程海洋觀測任務設計。

2.3 核心推進裝置與傳導機構

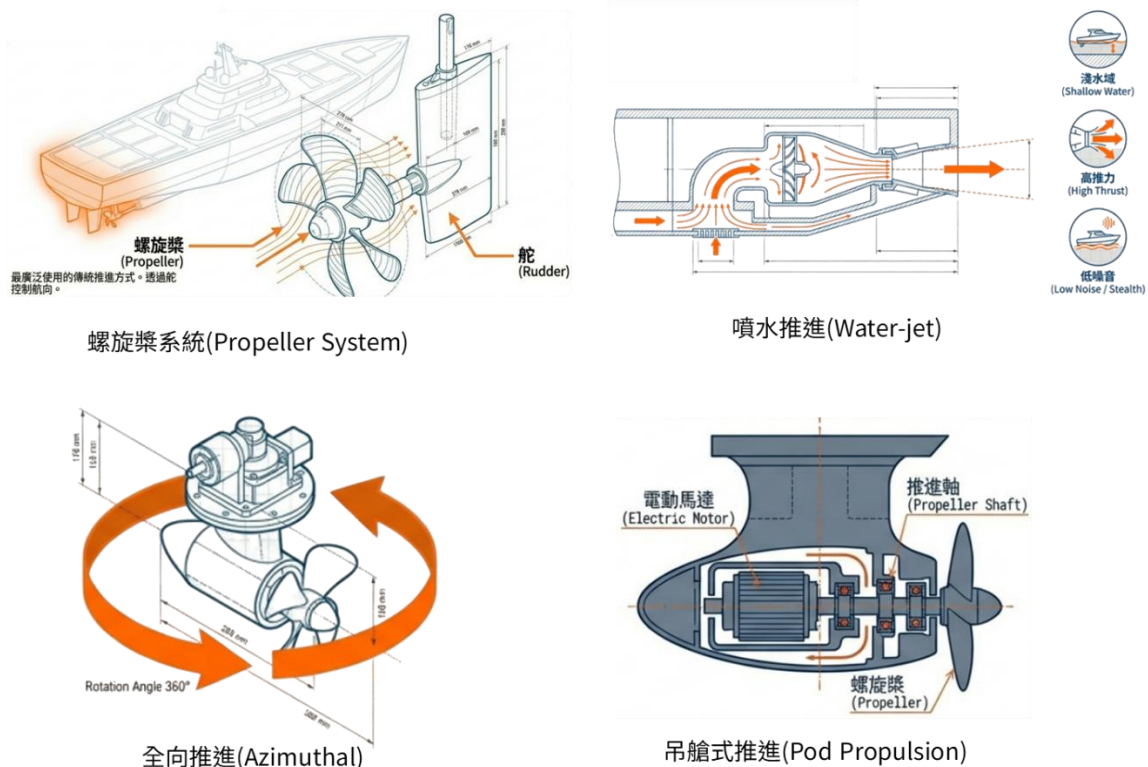


圖 5 推進裝置 (Propulsion Device) 示意圖

圖中介紹船舶與無人船(USV)四種核心的推進裝置(Propulsion Device)技術及其運作特性：

- 螺旋槳系統(Propeller System)：為最廣泛使用的傳統推進方式，透過螺旋槳(Propeller)旋轉產生推動力，並結合舵(Rudder) 來控制載具航向。
- 噴水推進(Water-jet)：利用內部泵浦噴射高速水流產生反作用力，具備高推力(High Thrust)與優異的低噪音(Low Noise / Stealth)性能，且因無外部槳葉，特別適合在淺水域(Shallow Water)作業。
- 全向推進(Azimuthal)：該裝置可帶動槳葉進行 360 度旋轉(Rotation)，賦予載具極佳的轉向靈活性與精準的定點操控能力。
- 吊艙式推進(Pod Propulsion)：將電動馬達(Electric Motor)與推進軸(Propeller Shaft)整合於外部水下吊艙內，直接驅動螺旋槳(Propeller)，有效優化載具空間配置並提升動力傳輸效率。

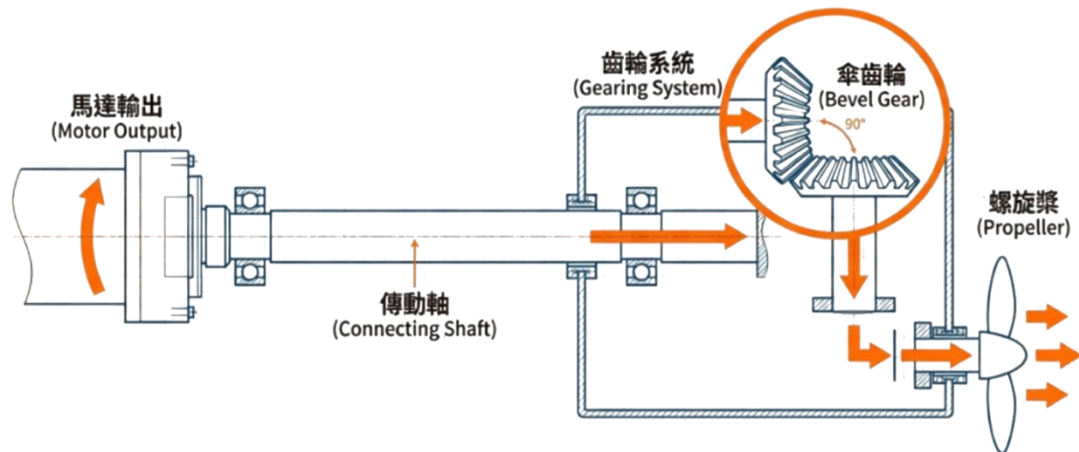


圖 6 動力傳導機構(Transmission Mechanism)示意圖

此圖說明無人船(USV)動力傳導機構(Transmission Mechanism)的運作流程，展示動能如何從能源設備傳遞至推進終端：

- 動力傳輸：核心動能源自馬達輸出，並透過長距離的傳動軸將旋轉動力向後傳送。
- 方向轉換：傳動軸進入齒輪系統(Gearing System)後，利用精密的傘齒輪(Bevel Gear)進行動能銜接。該齒輪設計能達成 90 度的轉向，改變扭矩輸出的方向。
- 最終推進：經由轉向後的動力最後驅動外部的螺旋槳旋轉，進而產生推動載具前進的水流推力。

這種機構設計能有效彈性配置馬達與螺旋槳的位置，是船舶與各類無人載具中常見且關鍵的機械傳動架構。

第三章：環境感知與資料融合

在瞬息萬變的海洋環境中，精確的「感官」是實現自主航行的首要條件。本章聚焦於無人船如何建立全面的「態勢感知」(Situational Awareness)，詳細介紹如何運用定位系統與慣性量測單元等本體感測器掌握自身動態，並透過航海雷達、光學攝影機、光達與聲納等外部感測器探知水面與水下環境。此外，本章將深入探討核心的資料融合演算法，解析系統如何將龐雜的感測數據轉化為高可靠度的環境地圖。

3.1 態勢感知架構

自主航行的核心在於透過感測系統整合，達成精確的環境認知與狀態評估。

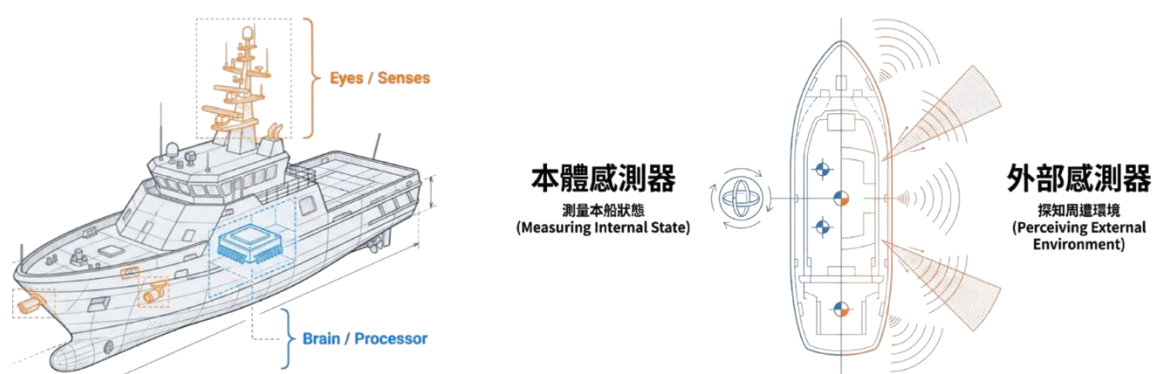


圖 7 態勢感知(Situational Awareness, SitAw)示意圖

圖中說明無人船(USV)自主航行(Autonomous Navigation)的態勢感知(Situational Awareness, SitAw)，其核心在於透過感測系統的整合，達成精確的環境認知與狀態評估。

感知架構主要分為以下兩個部分：

- **本體感測器(Measuring Internal State):** 負責測量載具的內部狀態(Internal State)，包含姿態、位置與各項設備運作參數。
- **外部感測器(Perceiving External Environment):** 作為載具的感官(Eyes / Senses)，用於探知周遭環境(External Environment)資訊，偵測障礙物與識別目標。

所有感測數據最終會匯集至內部的處理器 (Brain / Processor)進行資料融合與分析。這種整合能力使載具能像擁有大腦一樣，根據即時數據做出判斷，是確保無人系統在複雜海象中安全運作的技術關鍵。

3.2 本體感測技術

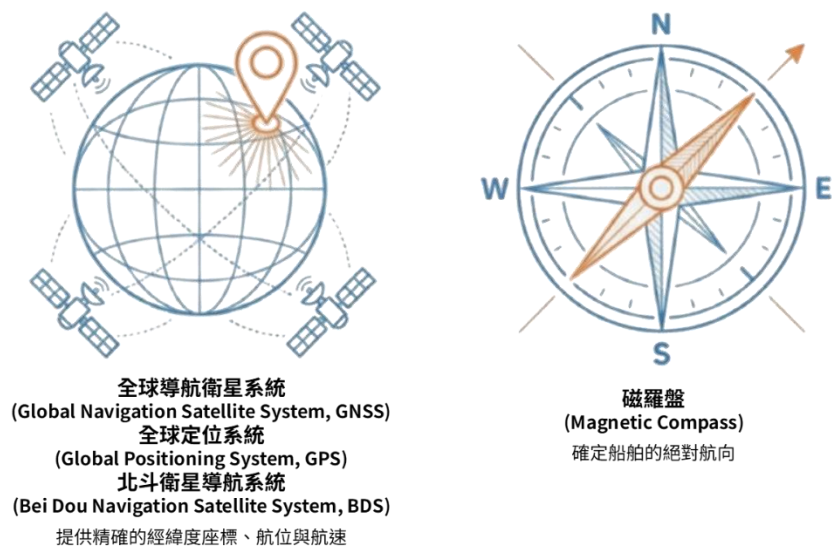
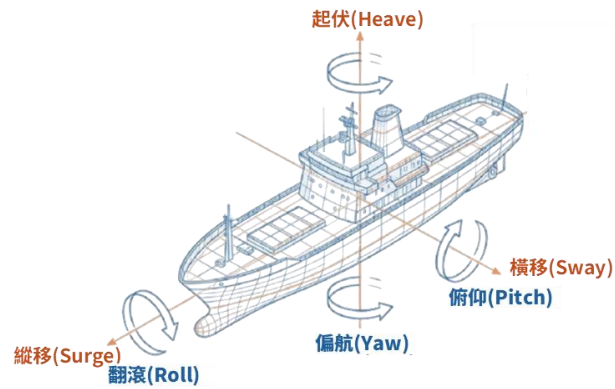


圖 8 本體感測之定位與航向(Positioning and Heading)示意圖

圖中說明無人船(USV)本體感測(Proprioceptive Sensing)中定位與航向(Positioning and Heading)的核心構成：

- 全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS): 涵蓋了全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 與北斗衛星導航系統(Bei Dou Navigation Satellite System, BDS)。其主要功能是提供高精度的經緯度座標(Longitude and Latitude Coordinates)、航位(Position)與航速(Velocity)，讓載具掌握即時空間位置。
- 磁羅盤 (Magnetic Compass): 核心功能在於確定船舶的絕對航向(Absolute Heading)，提供相對於地理方位角或地磁的參考基準。

整合導航衛星的定位資訊與羅盤的航向數據，能使載具在海域中精確掌握自身的空間動態與前進方位，是達成自主路徑規劃與導航控制的基礎。



**慣性量測單元
(Inertial Measurement Unit, IMU)**

包含：陀螺儀(Gyroscope)-測量角速度
、加速度計(Accelerometer)-測量加速度

**姿態航向參考系統
(Attitude and Heading Reference System, AHRS)**

結合 IMU 數據與濾波器，提供穩定的船舶姿態資訊。

圖 9 本體感測之姿態與動態(Attitude and Dynamic)示意圖

圖中詳述無人船(USV)在三維空間中的六自由度(Six Degrees of Freedom, 6-DoF)運動及其感測技術：

- 姿態與動態(Attitude and Dynamic)：包含沿軸線的位移運動——縱移(Surge)、橫移(Sway)、起伏(Heave)；以及繞軸轉動的姿態運動——翻滾(Roll)、俯仰(Pitch)與偏航(Yaw)。
- 慣性量測單元(Inertial Measurement Unit, IMU)：核心組件包含用以量測角速度的陀螺儀(Gyroscope)，以及量測線加速度的加速度計(Accelerometer)。
- 姿態航向參考系統(Attitude and Heading Reference System, AHRS)：透過結合 IMU 數據與精密的濾波器(Filter) 運算，能即時提供穩定且精確的船舶姿態資訊。

這些感測數據是船舶在波浪中維持穩定、執行精準定位與自主航行任務時不可或缺的物理參數基準。

3.3 外部感測技術

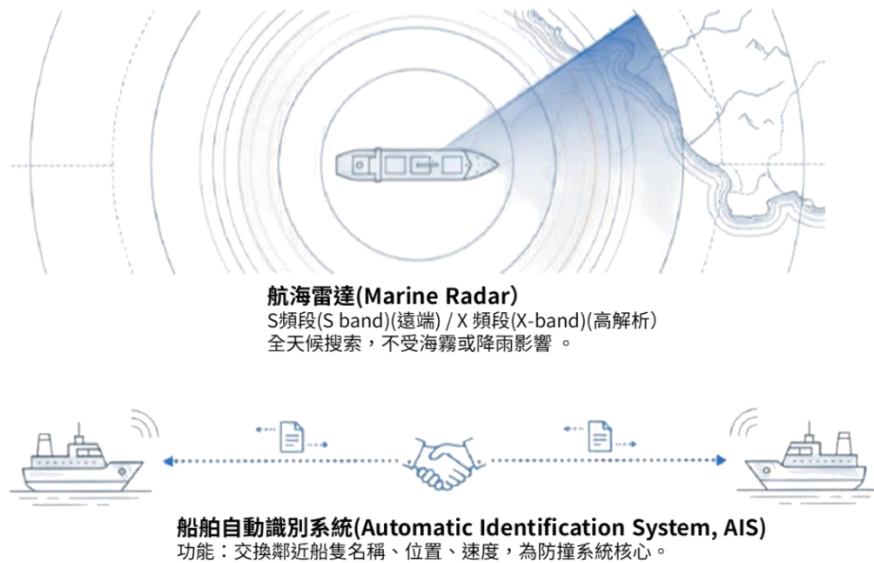
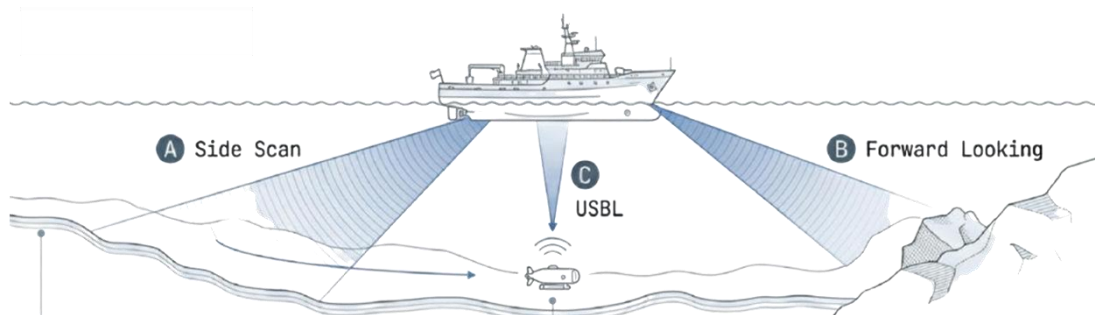


圖 10 外部感測之遠端偵測與識別(Remote Detection and Identification)示意圖

圖中說明無人船(USV)外部感測(Exteroceptive Sensing)的遠端偵測與識別(Remote Detection and Identification) 技術：

- 航海雷達(Marine Radar)：具備全天候搜索能力，不受海霧或降雨影響。系統包含用於遠距離偵測的 S 頻段(S-band)，以及提供高品質圖像、用於近距離辨識的 X 頻段(X-band)。雷達能有效掃描周遭地理輪廓與障礙物，確保航行安全。
- 船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)：為船舶間資訊交換的關鍵，透過無線電通訊自動共享船隻名稱(Ship Name)、位置(Position)與速度(Velocity)等資訊。

這兩項技術相輔相成，雷達負責物理目標的偵測，而 AIS 則提供數位身份與動態參數，共同構成了船舶防撞系統(Anti-collision System)的核心，確保在複雜海域中的避碰能力。



側掃聲納(Side Scan Sonar, SSS): 繪製海底地形。

前視聲納(Forward Looking Sonar, FLS)：前方障礙物偵測，預防擱淺。

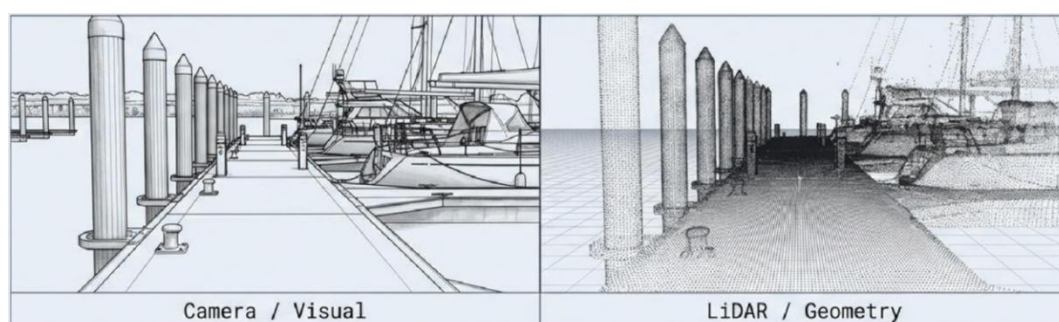
超短基線定位系統(Ultra-Short Baseline, USBL)：定位水下載具。

圖 11 外部感測之聲納(Sonar)示意圖

圖中說明無人船(USV)執行外部感測(Exteroceptive Sensing)的聲納(Sonar)技術進行水下探測與定位的三種主要應用：

- 側掃聲納(Side Scan Sonar, SSS)：主要用於繪製廣闊的海底地形(Seafloor Topography)，透過扇形聲束掃描海床，獲取高解析度的地貌影像。
- 前視聲納(Forward Looking Sonar, FLS)：負責載具前方的障礙物偵測(Obstacle Detection)，能預防船舶擱淺(Grounding)，是水下避碰的關鍵設備。
- 超短基線定位系統(Ultra-Short Baseline, USBL)：這是一種水下聲學定位技術，用於精確定位水下載具(Underwater Vehicle)，確保母船與子體之間的相對位置監控。

藉由不同頻率與掃描方式的聲納系統整合，船舶能在能見度極低的環境中，有效掌握水底深度、地質特徵以及潛在的航行風險。



光學攝影機 (Camera)

種類：可見光 (Visible), 立體(Stereo), 紅外線 (Infrared, IR)

用途：目標分類、輪廓辨識、夜間感知

光達 (Light Detection and Ranging, LiDAR)

輸出：點雲 (Point Cloud)

用途：環境建模、障礙物辨識、自主靠泊

圖 12 外部感測之近場高精度感知示意圖

圖中說明無人船(USV)外部感測(Exteroceptive Sensing)的近場高精度感知(Near-field High-precision Perception)的兩大核心技術：

- 光學攝影機(Camera / Visual)：包含可見光(Visible)、立體(Stereo) 與紅外線(Infrared, IR) 等種類。主要用途在於進行目標分類(Object Classification)、輪廓辨識(Contour Recognition) 及夜間感知(Night Vision)，提供豐富的語義資訊。
- 光達(Light Detection and Ranging, LiDAR)：透過發射雷射光束量測距離，輸出高精度的點雲(Point Cloud) 數據。其優勢在於精確捕捉環境的幾何構造(Geometry)，適用於環境建模(Environment Modeling)、障礙物辨識(Obstacle Identification) 與自主靠泊(Autonomous Berthing)。

這兩種感測器互補，攝影機提供色彩與細節辨識，光達提供精確的空間深度資訊，共同確保載具在近距離作業時的安全性與精準度。

3.4 資料融合與估測

由數據(Data)到決策(Decision)

1. 整合多重感測器資訊，消除單一局限性。
2. 提供更可靠的狀態估測與環境地圖。

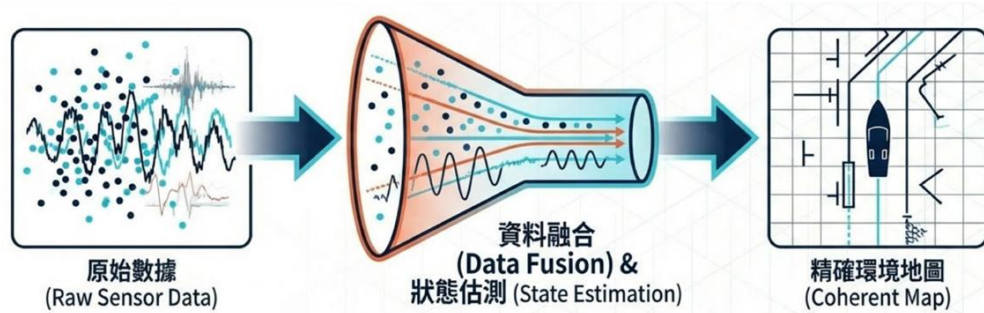


圖 13 資料融合(Data Fusion)示意圖

圖中說明了無人船(USV)如何實現由數據(Data) 到決策(Decision)的核心轉換流程，其關鍵技術在於資料融合(Data Fusion)：

- 原始數據(Raw Sensor Data)：系統首先收集來自多重感測器的雜訊資訊。單一感測器往往具有侷限性，無法提供完整的環境視圖。
- 資料融合與狀態估測(Data Fusion & State Estimation)：透過演算法整合不同感測器的資訊，藉此消除單一感測器的誤差與局限，並進行精確的狀態估測(State Estimation)。
- 精確環境地圖(Coherent Map)：融合後的數據最終產出可靠的環境圖資與狀態判斷。

透過此流程，載具能獲得比單一感測器更穩定、可靠的環境認知，為後續的自主路徑規劃與避碰決策提供堅實的數據基礎。

第四章：導航決策、控制與通信系統

將環境感知轉化為具體的航行動作，仰賴無人船高度智慧化的「大腦」。本章將剖析中央控制系統的運作邏輯，包含導航系統的分層架構、全域與區域的路徑規劃技術，以及符合國際海上避碰規則（COLREGS）的動態自動化避碰機制。同時，探討如何運用先進控制器確保航行軌跡的精準度，並介紹維持遠端監控、確保人機互動順暢的通信鏈路與岸基系統，完整呈現無人船的決策與控制中樞。

4.1 導航系統與決策控制

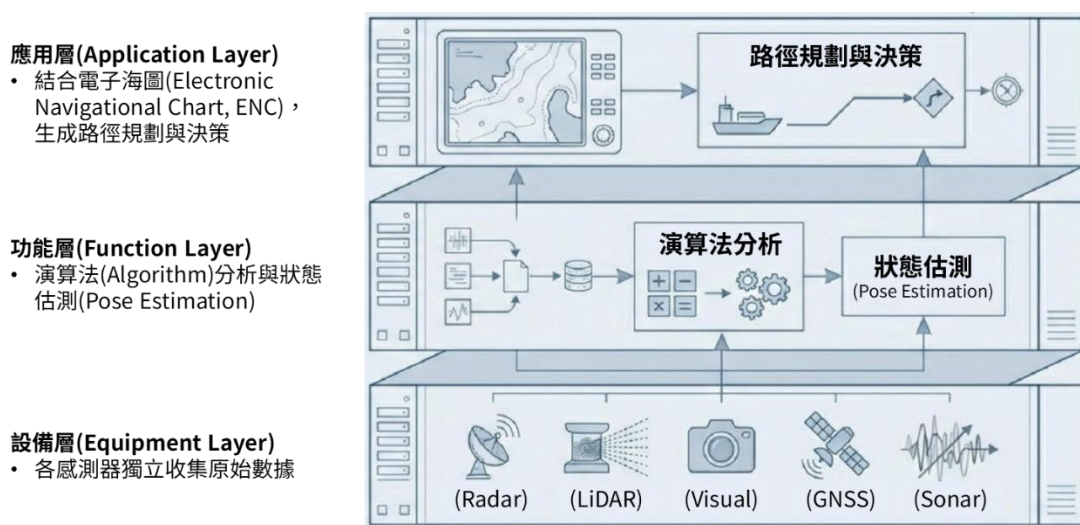


圖 14 導航系統(Navigation System)的融合架構示意圖

圖中顯示導航系統 (Navigation System) 的分層融合架構，說明數據如何從感測端轉化為執行決策：

- 設備層(Equipment Layer)：由各類感測器獨立收集原始數據(Raw Data)，包含雷達(Radar)、光達(LiDAR)、視覺感測(Visual)、全球導航衛星系統(GNSS) 及聲納(Sonar)。
- 功能層(Function Layer)：利用演算法(Algorithm) 進行資料分析，執行精確的姿態估測(Pose Estimation)，將碎片化的數據整合為載具的狀態資訊。
- 應用層(Application Layer)：結合電子海圖(Electronic Navigational Chart, ENC) 進行環境比對，最終生成路徑規劃與決策(Path Planning and Decision Making)。

此垂直整合架構確保了無人載具能從底層的環境感知，經由中層的邏輯運算，最終在頂層實現自主航行的目標。

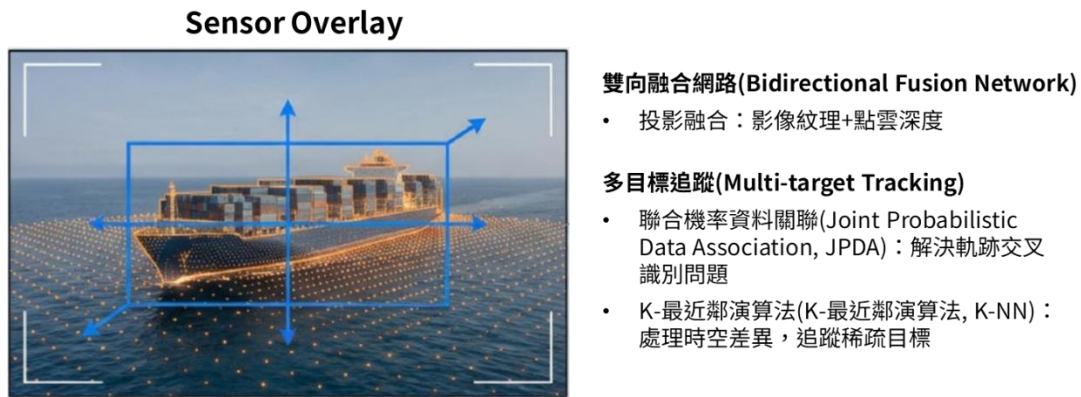


圖 15 核心演算法之濾波與狀態估測示意圖

此圖說明採用的核心演算法及其在濾波與狀態估測(Filtering and State Estimation) 中的應用：

- 預測與更新(Prediction and Update)：為估測演算法的循環基礎，透過不斷迭代來修正載具狀態。
- 擴展卡爾曼濾波(Extended Kalman Filter, EKF)：結合 GNSS 與 IMU 數據，專門處理非線性系統的動態狀態。
- 聯邦卡爾曼濾波(Federated Kalman Filter, FK)：具備故障容錯(Fault Tolerance) 能力，確保單一感測器失效時不影響整體系統運作。
- 雙向融合網路(Bidirectional Fusion Network)：執行投影融合 (Projection Fusion)，整合影像紋理與點雲深度資訊。
- 多目標追蹤 (Multi-target Tracking)：利用聯合機率資料關聯 (Joint Probabilistic Data Association, JPDA) 解決軌跡交叉問題，並透過 K-最近鄰演算法(K-Nearest Neighbor, K-NN) 處理時空差異，追蹤稀疏目標。

這些演算法共同建構了穩定且精確的環境感知網絡，是實現自主避碰與導航的技術核心。



圖 16 決策控制示意圖

圖中說明無人船(USV)自主運作的決策控制(Decision and Control) 的核心邏輯：

- 導航資訊(Nav Info)：作為系統的輸入端，整合了來自感測層與功能層的融合數據，包含載具的位置、速度、姿態及周遭障礙物圖資。

- 中央決策控制系統(Central Decision Control System)：這是載具的「指揮中心」，負責連結與控制所有子系統。它根據預設的任務目標(Mission Goal)，對輸入資訊進行即時邏輯判斷與運算。
- 航行決策(Mission Decision)：系統最終產出的指令輸出，決定載具的航行路徑、速度調整與避碰行動。

透過此中央控制架構，載具能將複雜的環境感知轉化為具體的執行動作(Action)，確保在多變的海域環境中，依然能精準、安全地完成指定任務。

4.2 路徑規劃與避碰機制

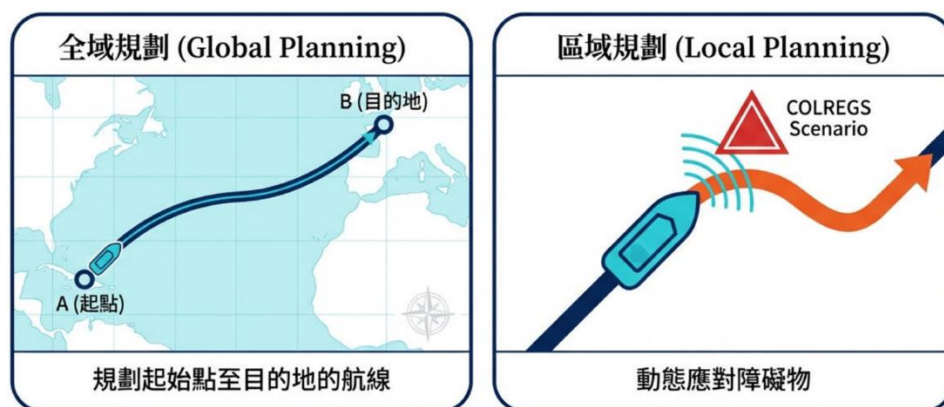


圖 17 路徑規劃與避碰機制示意圖

圖中說明了無人船(USV)在執行任務時，兩種互補的路徑規劃(Path Planning)與避碰機制：

- 全域規劃(Global Planning)：針對長距離航行，系統根據起點與目的地繪製最優航線(Route)。此層級主要考量地理資訊與任務效率，建立整體的航行架構。
- 區域規劃(Local Planning)：屬於即時的動態反應機制。當載具感測到障礙物時，會根據國際海上避碰規則(International Regulations for Preventing Collisions at Sea, COLREGS) 的情境要求，立即修正航向以進行動態應對障礙物(Dynamic Obstacle Avoidance)。

透過全域與區域規劃的協作，載具不僅能確保航行方向正確，更能靈活處理海面上的突發狀況，達成安全且高效的自主航行任務。

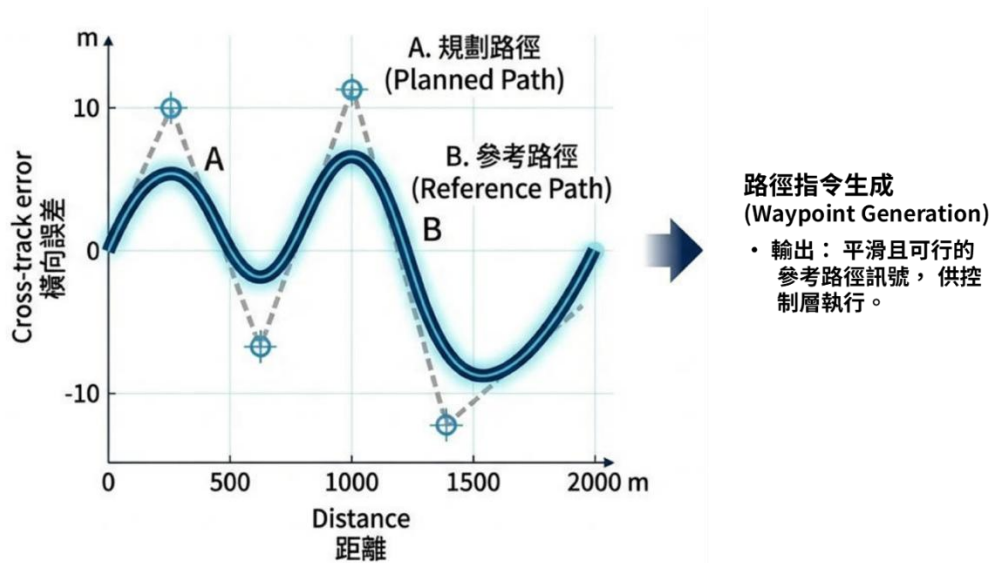


圖 18 導引指令生成示意圖

此圖說明無人船(USV)的導引指令生成(Guidance Command Generation)邏輯，展示如何將規劃路徑轉化為可執行的指令：

- 規劃路徑(Planned Path)：圖中以虛線表示，代表系統初步計算出的理想航行軌跡。
- 參考路徑(Reference Path)：圖中以實線表示，是考量實際物理限制後，生成的平滑且可行(Smooth and Feasible) 的航行訊號。
- 橫向誤差(Cross-track Error)：圖表左側縱軸顯示了載具實際位置與參考路徑之間的偏差量，單位為公尺。
- 路徑指令生成(Waypoint Generation)：系統最終輸出的平滑參考路徑訊號，會提供給控制層(Control Layer) 進行即時動作執行。

此流程確保了載具在長距離導航時，能穩定地沿著精確軌跡前進，並將路徑偏差降至最低。

4.3 誤差控制機制與任務模式

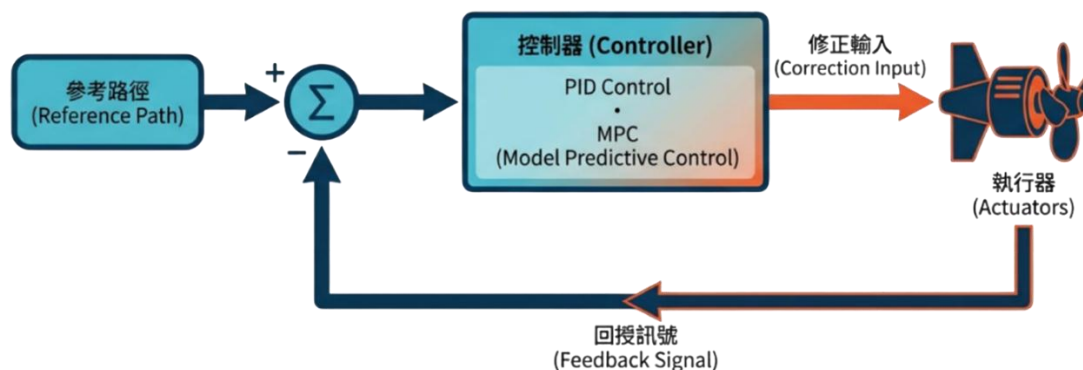


圖 19 消除誤差控制示意圖

此圖表說明導航系統的消除誤差控制 (Error Elimination Control) 之閉迴路流程：

- 參考路徑(Reference Path)：作為系統的目標輸入，提供載具應遵循的預定軌跡。
- 控制器(Controller)：核心包含 PID 控制(Proportional-Integral-Derivative Control)與模型預測控制(Model Predictive Control, MPC)。它負責計算參考路徑與實際狀態間的偏差，並輸出修正輸入(Correction Input)。
- 執行器(Actuators)：接收指令並驅動硬體設備（如螺旋槳）執行物理動作。
- 回授訊號(Feedback Signal)：將執行後的實際狀態傳回輸入端進行比對，形成循環以持續修正誤差。

透過這種動態回授機制，系統能確保載具在受到環境干擾時，仍能精準地修正航向並貼合預定路徑。



圖 20 常見控制任務模式示意圖

此圖呈現了無人船(USV)在執行任務時的三種常見控制任務模式(Control Mission Modes)：

- 路徑追隨(Path Following)：以空間優先(Spatial Priority) 為原則，主要目標是使載具穩定且精確地跟隨預定的路徑軌跡。
- 軌跡追蹤(Trajectory Tracking)：以時空優先(Spatio-temporal Priority) 為原則，要求載具必須在特定的時間點到達指定的空間座標。
- 動態定位(Dynamic Positioning, DP)：以定點維持(Station Keeping) 為目標，系統需主動抗衡

風、浪、流等環境力(Environmental Forces)，將載具維持在固定的位置與航向上。
這三種模式涵蓋了從移動導航到定點作業的各種需求，是確保載具達成自動化任務的核心控制策略。

4.4 通信鏈路與岸基監控：



圖 21 通信與監控示意圖

此圖說明了無人船(USV)在遠端作業中的通信與監控(Communication and Monitoring)架構，根據距離與需求採用不同的通訊技術：

- 衛星(Satellite)：用於遠洋或偏遠地區的長距離通訊，確保載具在超視距環境下仍能維持連線。
- 4G/5G/Wi-Fi (近岸)：利用現有的行動網路或無線區域網路技術，提供近岸地區的高頻寬、低延遲數據傳輸，適用於傳輸高解析度影像。
- UHF/VHF(直連)：透過超高頻或特高頻無線電進行直連(Direct Link)，主要用於視距內的控制指令傳輸與基本監控。

透過這些多元通訊鏈路的整合，監控中心能即時掌握載具狀態，確保遠端操作的安全與任務執行的穩定性。



人機介面
(Human-Machine Interface, HMI)

- 遠端操控 (Remote Control):
必要時介入
- 系統監控 (System Monitoring):
動力/電池狀態
- 故障告警 (Fault Alerts)

圖 22 岸基工作站與人機介面示意圖

此圖說明無人船(USV)的遠端監控與人機介面(Remote Monitoring and HMI)系統架構，呈現了操作者如何與載具進行互動：

- 人機介面(Human-Machine Interface, HMI)：位於監控中心(Control Center)，提供視覺化的操控介面，讓操作員能即時掌握載具狀態。
- 視訊串流(Video Stream)：透過感測器回傳的即時影像，操作員能獲得第一人稱視角(First-Person View, FPV)，進行精準的遠端導航與目標辨識。
- 感測數據與警報(Sensor Data & Alarms)：系統即時顯示載具的航行參數（如速度、位置），並在發生異常時發出警報(Alarm)，確保任務安全。
- 遠端控制(Remote Control)：操作員透過搖桿(Joystick) 或控制台發送指令，經由通訊鏈路傳輸至載具執行動作。

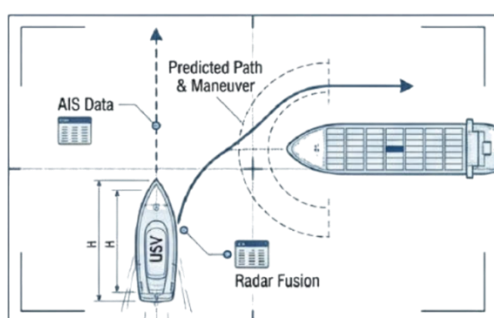
此架構整合了資訊回饋與指令下達，是實現遠距操控與情勢監控的核心關鍵。

第五章：任務載荷與多元應用場景

無人船技術的最終價值，在於解決實際的場景任務需求。本章將前述的理論技術落實於現實應用，展示無人船在整合各項軟硬體系統後，如何執行高難度的完全自主化任務（如釐米級的精準自主靠泊）。內容將廣泛涵蓋無人船在軍事戰略上的情報偵察與防禦，以及在科學研究領域的水文調查、海底地形建模與長期的海洋生態環境監測，具體展現無人載具產業龐大的商業價值與未來潛力。

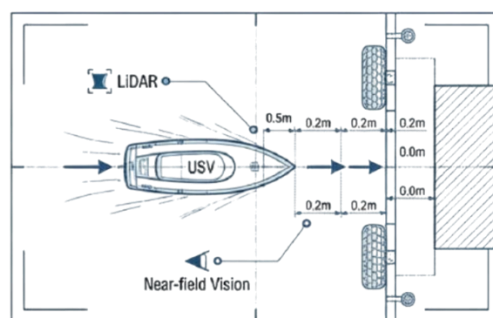
5.1 完全自主化任務

自動化避碰 (Collision Avoidance)



透過 AIS 與雷達數據融合，預測路徑並迴避。

自主靠泊(Autonomous Berthing)



依賴 LiDAR 與近場視覺融合，達成厘米級控制。

圖 23 完全自主化任務示意圖

此圖展示無人船(USV)執行完全自主化任務的兩大核心場景：

1. 自動化避碰(Collision Avoidance): 透過整合自動識別系統(Automatic Identification System, AIS) 與雷達融合技術(Radar Fusion), 無人船能即時偵測周遭船隻的方位與速度。系統會根據獲取的數據計算出預測路徑與操縱方向(Predicted Path & Maneuver), 從而安全地繞過障礙物, 確保航行安全。
2. 自主靠泊(Autonomous Berthing): 有關於靠岸時對空間精準度要求極高, 系統主要依賴光學雷達(LiDAR) 與近場視覺(Near-field Vision) 的感測融合。透過這些高精度感測器, 無人船能實施釐米級控制(Centimeter-level Control), 精準計算與碼頭的距離, 實現平穩且精確的自動停泊。

5.2 軍事領域戰略應用

優勢：高隱蔽性、零傷亡風險

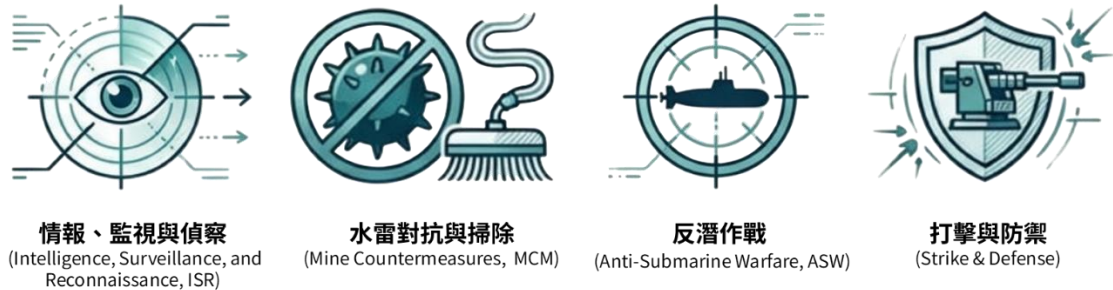


圖 24 軍事應用示意圖

圖中顯示無人船在軍事領域的四大核心應用，強調其具備高隱蔽性(High Stealth)與零傷亡風險(Zero Casualty Risk)的戰略優勢：

- 情報、監視與偵察 (Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance, ISR)：利用感測器進行全天候監控，獲取敵方動態與戰場情資。
- 水雷對抗與掃除(Mine Countermeasures, MCM)：負責偵測、識別與排除水下威脅，確保航道安全並避免人員直接進入危險區域。
- 反潛作戰(Anti-Submarine Warfare, ASW)：透過聲納等技術追蹤敵方潛艦，執行長時間的海底巡邏與監控任務。
- 打擊與防禦(Strike & Defense)：執行精準打擊任務，並在防衛作戰中作為第一線火力平台，強化整體的防禦深度。

5.3 科學研究與環境應用

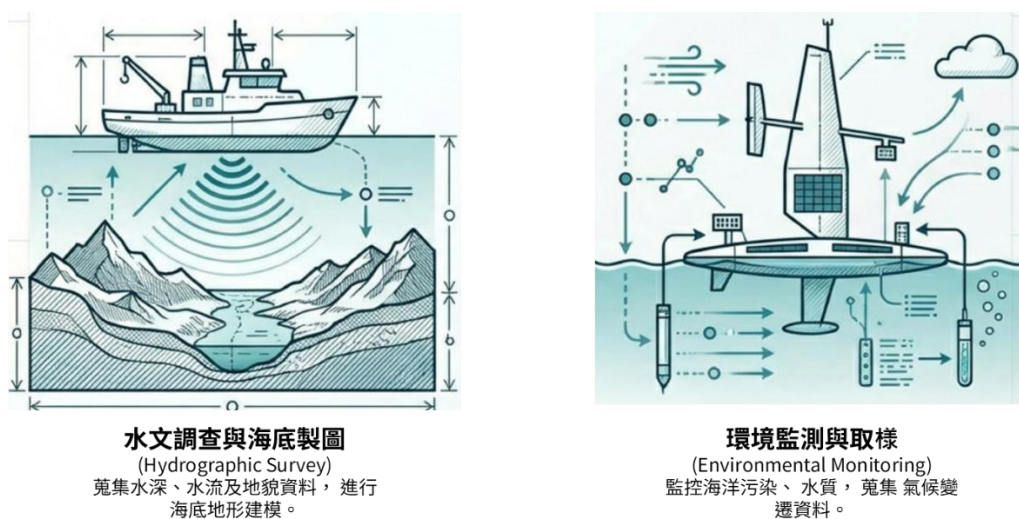


圖 25 科學研究應用示意圖

圖中展示無人船在科學研究領域的兩大關鍵應用：

1. 水文調查與海底製圖 (Hydrographic Survey)

左圖描繪無人船利用聲納系統蒐集水深(Water Depth)、水流(Currents)及地貌資料。透過高精度的感測數據，研究人員能進行海底地形建模(Bathymetric Modeling)，協助航道開發、資源勘探及海洋地質研究。

2. 環境監測與取樣 (Environmental Monitoring and Sampling)

右圖呈現無人平台作為移動式觀測站的功能。系統可長時間執行海洋污染(Marine Pollution)與水質(Water Quality)監控，並透過自動化設備進行水體或沉積物取樣，協助科學家蒐集氣候變遷(Climate Change) 相關的長期環境數據，減少人工出海觀測的成本與風險。

無人船產業中英文專業用語彙整表(Glossary)

產業用語	英文	中文	說明
6-DoF	Six Degrees of Freedom	六自由度	描述船體在空間中的六種運動模式：縱移、橫移、起伏、翻滾、俯仰、偏航。
Adaptive Control	Adaptive Control	適應控制	能隨環境干擾（風浪流）自動調整參數的控制方法。
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler	聲學都卜勒流速剖面儀	用於測量不同深度的水流速度與方向的感測設備。
AIS	Automatic Identification System	船舶自動識別系統	用於交換船舶身分、位置、航速等資訊的無線電廣播系統。
APF	Artificial Potential Field	人工位能場	將目標設為引力、障礙物設為斥力，用以進行局部避障的演算法。
ASV	Autonomous Surface Vehicle	自主式水面載具	強度強調具備高度自主導航與決策能力，能獨立完成複雜任務的無人船。
AUV	Autonomous Underwater Vehicle	自主水下航行器	具備完全自主能力的水下無人載具。
Azimuth Thruster	Azimuth Thruster	全旋轉式推進器	可 360 度旋轉的推進器，大幅提升無人船的操縱靈活性。
Bandwidth	Bandwidth	頻寬	每秒能傳輸的數據量，影響影像回傳的解析度。
Bathymetry	Bathymetry	水深測量	測繪海底地形深度與形貌的過程。
Big Data	Big Data	大數據	指無人船長時間收集的海量感測數據，用於分析與演算法優化。
BLOS	Beyond Line of Sight	超視距通訊	超過視距範圍，需透過中繼衛星或低頻電波進行的通訊。
Bollard Pull	Bollard Pull	繫泊拉力	衡量推進器在靜止狀態下所能產生的最大持續推力。
Catamaran	Catamaran	雙體船	由兩個獨立船體組成，具備良好的橫向穩定性與較大的甲板空間。

CFD	Computational Fluid Dynamics	計算流體動力學	利用電腦模擬流場，優化船體線型以降低阻力的技術。
Classification Society	Classification Society	驗船協會	負責檢驗並核發無人船結構安全與技術證書的機構（如 CR, LR, ABS）。
CoG	Center of Gravity	重心	載具重量的分佈中心，影響穩度與運動特性。
COLREGS	COLREGS	避碰規則	無人船自主導航演算法必須遵循的「交通法規」。
COLREGS	COLREGS	國際海上避碰規則	無人船自主避障系統必須遵循的國際海上交通法規。
COTS	Commercial-Off-The-Shelf	現成商業產品	指無人船中直接採用的標準化市售零件（如電池、工業電腦）。
CV	Computer Vision	電腦視覺	處理相機影像以進行目標識別、追蹤與環境理解的技術。
Cyber Resilience	Cyber Resilience	網路韌性	系統遭受網絡攻擊後快速恢復正常運作的能力。
Cyber Security	Cyber Security	資訊安全	防止無人船系統被黑客入侵、干擾或劫持的防禦技術。
Data Fusion	Data Fusion	資料融合	整合來自雷達、光達與影像等多感測器的資訊以提升感知的準確性。
Data Link	Data Link	數據鏈路	載具與操控站之間傳輸指令與狀態遙測的專門頻道。
Digital Twin	Digital Twin	數位分身	在電腦中建立與實體無人船同步的虛擬模型，用於模擬與監控。
Displacement	Displacement	排水量	船體排開水的重量，代表載具的總量（含載荷）。
DL	Deep Learning	深度學習	機器學習的進階分支，常應用於複雜的影像辨識與語音處理。
DoA	Degree of Autonomy	自主化程度	描述載具自動化能力的等級（通常分 1 到 5 級）。
DP	Dynamic Positioning	動態定位	系統主動抗衡外力（如風、浪、流），使載具維持在特定地理座標的控制模式。
DR	Dead Reckoning	航位推算	在失去衛星訊號時，利用速度與方位估算當前位置的方

			法。
Draft	Draft	吃水	船體沒入水下的深度，決定無人船能進入多淺的海域。
Echosounder	Echosounder	測深儀	最基礎的水深測量感測器。
Edge Computing	Edge Computing	邊緣運算	在無人船本地進行數據處理而非傳回雲端，以降低決策延遲。
Electric Propulsion	Electric Propulsion	電力推進	使用鋰電池或燃料電池驅動馬達，零排放且低噪音。
Endurance	Endurance	續航力	無人船在不充電或不加油的情況下能持續作業的時間或距離。
Environmental Monitoring	Environmental Monitoring	環境監控	利用無人船監測水質、溫度、鹽度及漏油污染。
Fail-safe	Fail-safe	失效安全保護	當通訊中斷或系統異常時，觸發自動停機或返航的保護機制。
FLS	Forward Looking Sonar	前視聲納	安裝於船頭，用以偵測前方障礙物或水下物體的聲納。
GCS	Ground Control Station	地面控制站	岸端操作員監控與操控無人船的硬體與軟體系統。
GCS	Ground Control Station	地面控制站	位於岸端或母船，負責監控操作及接收無人載具數據的指揮中心。
Geofencing	Geofencing	地理圍欄	設定虛擬邊界，若無人船超出範圍則觸發警報或自動返航。
GNC	Guidance, Navigation, and Control	導引、導航與控制	無人系統的核心架構，負責規劃路徑、確定位置與執行動作。
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球導航衛星系統	包含 GPS、GLONASS、北斗等衛星定位系統的總稱。
GPS	Global Positioning System	全球定位系統	提供載具精確地理位置資訊的核心導航系統。
Heading Control	Heading Control	航向控制	維持或改變無人船航向 (Yaw) 的自動化控制。
HITL	Human-in-the-loop	人在迴路	指自動化系統在關鍵決策步驟仍需人類介入或授權。
HMI	Human-Machine Interface	人機介面	操作員與無人系統互動的視覺化操控介面，用以掌握載

			具狀態與下達指令。
Hull Resistance	Hull Resistance	船體阻力	船體航行時所受到的摩擦阻力、興波阻力等。
Hybrid Propulsion	Hybrid Propulsion	混合動力推進	結合內燃機與電動馬達的動力系統，兼顧續航與安靜性。
Hydrodynamics	Hydrodynamics	流體動力學	研究船體在水中受力與運動表現的科學。
Hydrographic Survey	Hydrographic Survey	水道測繪	為航行安全所進行的海域環境調查。
Image Segmentation	Image Segmentation	影像分割	AI 將影像中的水面、天空、目標物進行像素級區分的技術。
IMO	International Maritime Org.	國際海事組織	制定全球航運安全、法律與環保規範的聯合國機構。
IMO	International Maritime Organization	國際海事組織	制定國際海上安全與防汙規範的聯合國專門機構。
IMU	Inertial Measurement Unit	慣性測量單元	包含陀螺儀與加速度計，用以測量載具的姿態角與加速度。
INS	Inertial Navigation System	慣性導航系統	透過加速度計與陀螺儀測量載具姿態與加速度，常與 GPS 整合使用。
Interoperability	Interoperability	互操作性	不同品牌、種類的無人系統能相互溝通與協作的的能力。
IoS	Internet of Ships	船舶物聯網	將所有船舶與感測器連接至網絡，實現智慧化管理的架構。
IR	Infrared Camera	紅外線熱顯像儀	用於夜間或低能見度環境下的熱特徵感測與監控。
ISR	Surveillance and Reconnaissance	情報監偵	無人船進行區域監控、目標偵查與情報蒐集的任務類型。
KF	Kalman Filter	卡爾曼濾波	用於融合不同感測器數據（如 GPS 與 IMU）以優化狀態估計的演算法。
LARS	Launch and Recovery System	布放與回收系統	用於將無人船從母船或岸邊投入水面並回收的專用設備。
Latency	Latency	延遲	數據從無人船傳輸到控制站所需的時間，影響遠端操控。

			的即時性。
LiDAR	Light Detection and Ranging	光達	利用雷射脈衝測距，用於無人船周邊環境障礙物的精確建模與感知。
LNG	Liquefied Natural Gas	液化天然氣	一種前瞻性能源選擇，用於減少無人船的碳排放並提升續航效率。
LOS	Line of Sight	視線導引 / 視距	一種經典的導航方法，使載具朝向目標點或路徑上的切點前進。
LOS	Line of Sight (Communication)	視距通訊	在視線範圍內（如 2.4GHz/5.8GHz）進行的高頻無線傳輸。
Man-portable	Man-portable	人員可攜	體積小到可由一至兩人搬運操作的小型無人船。
MASS	Maritime Autonomous Surface Ship	海上自主水面船舶	國際海事組織（IMO）對具備不同自動化程度之自主船舶的官方定義名稱。
MAVLink	Micro Air Vehicle Link	載具通訊協議	一種輕量級的訊息傳輸協議，廣泛用於無人載具間的通訊。
MBES	Multi-beam Echo Sounder	多聲束測深儀	向水底發射扇形聲波，用於高精度水深測量與地形掃描。
MCM	Mine Countermeasures	掃雷 / 反水雷任務	利用無人船進行水雷偵測、識別與銷毀的軍事應用。
MDA	Maritime Domain Awareness	海域態勢感知	綜合各種情資，全面掌握海上動態以確保安全與防禦。
Mesh Network	Mesh Network	網狀網絡	多台無人船之間互相中繼訊號，擴大通訊範圍的網絡拓樸。
Metocean Data	Metocean Data	氣象海洋數據	包含風速、浪高、流速、氣壓等環境監測資料。
ML	Machine Learning	機器學習	AI 的一部分，透過數據訓練無人船辨識物體或優化決策。
Modular Design	Modular Design	模組化設計	允許根據不同任務快速更換感測器或動力模組的設計方式。
Monohull	Monohull	單體船	具備單一船殼的傳統船型，

			排水量大但穩定度依賴船寬。
MPC	Model Predictive Control	模型預測控制	進階控制技術，能考慮系統約束並預測未來狀態，以進行最佳化路徑控制。
MRO	Maintenance, Repair, Overhaul	維修、保養與大修	無人船長期運維的核心服務內容。
NTM	Notice to Mariners	航海通告	用於向所有航行者通報無人船試驗區域或潛在危險的資訊。
OA	Obstacle Avoidance	避障	無人船偵測並繞開障礙物以防止碰撞的自主功能。
Object Detection	Object Detection	物體偵測	利用 AI 辨識影像或雷達回跡中的船舶、浮標或障礙物。
ODD	Operational Design Domain	運行設計定義域	規定無人船能安全運行的特定環境限制（如特定風速下）。
Path Following	Path Following	路徑追隨	以空間優先為原則，使載具精確且穩定地跟隨預定航跡的任務模式。
Path Planning	Path Planning	路徑規劃	根據任務目標與環境約束，計算最佳航行路徑的過程。
Payload	Payload	任務載荷	指非屬載具本身，而是執行任務所需的設備（如感測器、機械臂）。
PID	Proportional-Integral-Derivative Control	比例積分微分控制	一種經典的控制器算法，用於修正載具實際狀態與預定路徑間的偏差。
PSC	Port State Control	港口國管制	檢查進入港口的外國船舶（含 MASS）是否符合國際公約。
Rapid Prototyping	Rapid Prototyping	快速原型製作	快速製造縮尺模型或樣機進行功能測試的研發過程。
RCS	Radar Cross Section	雷達截面積	描述物體對雷達波反射能力大小的指標，與隱蔽性相關。
Redundancy	Redundancy	冗餘設計	關鍵系統（如雙通訊、雙電機）的備份機制，提高系統可靠性。
ROS	Robot Operating System	機器人作業系統	用於開發無人船軟體系統的開源通訊架構與工具集。

ROTH	Remote Over-the-Horizon	遠端超視距	透過網際網路或衛星在數千公里外操控載具。
ROV	Remotely Operated Vehicle	遙控水下機器人	常作為 USV 的子載荷，由 USV 攜帶至特定海域進行水下作業。
RTK	Real-Time Kinematic	即時動態定位	利用地面基準站修正 GPS 誤差，達到公分級精確定位的技術。
SAR	Search and Rescue	搜救任務	無人船應用於海難搜尋與救援任務的縮寫。
SAS	Synthetic Aperture Sonar	合成孔徑聲納	高解析度水底成像設備，常用於底質探勘與水下物體偵尋。
SATCOM	Satellite Communication	衛星通訊	無人船在遠海作業時，透過衛星與岸基站連線的主要手段。
Sea State	Sea State	海象 / 海況	描述海面風浪強度等級（如蒲福氏風級或道格拉斯海情標度）。
Sensor Calibration	Sensor Calibration	感測器校準	修正感測器安裝誤差與系統偏差的過程。
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping	即時定位與地圖構建	在未知環境中同時建構地圖並估算自身位置的技術。
SMS	Safety Management System	安全管理體系	確保無人船作業過程中風險可控的標準作業程序。
SNR	Signal-to-Noise Ratio	信噪比	衡量感測器訊號品質的重要指標，信噪比越高訊號越清晰。
SOLAS	SOLAS	海上人命安全公約	國際上最重要、關於商船安全的法律框架。
SOP	Standard Operating Procedure	標準作業程序	進行無人船布放、回收與任務執行的規範步驟。
SSS	Side Scan Sonar	側掃聲納	用於獲得海底地貌影像的聲波偵測設備。
Swarm Operations	Swarm Operations	群體作業	多台無人船協同合作執行任務，如飽和攻擊或大面積搜索。
SWATH	SWATH	小水線面雙體船	水線面積小，受波浪影響極微，在高海象下仍極其平穩。
TCO	Total Cost of Ownership	總持有成本	包含採購、維護、人力、折舊

			在內的完整生命週期成本。
Telemetry	Telemetry	遙測數據	載具回傳的即時狀態資料 (如電池電量 位置 溫度)。
Trajectory Tracking	Trajectory Tracking	軌跡追蹤	以時空優先為原則，要求載具在特定時間點到達指定的空間座標。
Trimaran	Trimaran	三體船	由一個主船體與兩個側浮體組成，兼具高速與高穩定性。
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	無人飛行載具 / 無人機	在空中飛行的無人載具，常用於空中偵察或通訊中繼。
USV	Unmanned Surface Vehicle	無人水面載具 / 無人船	指在水面上航行，無需人員隨船操作，透過遠端遙控或自主控制執行的載具。
UUV	Unmanned Underwater Vehicle	無人水下載具	在水下作業的無人載具，常用於深海探測或軍事偵察。
V&V	Verification and Validation	驗證與確認	證明無人船演算法符合規範且能安全執行任務的程序。
Water-jet Propulsion	Water-jet Propulsion	噴水推進	透過噴射水流產生推力，適合淺水區且不易捲入異物。
Winch	Winch	絞車	用於收放水下感測器（如曳引聲納）或取樣設備的捲動裝置。
WPT	Waypoint	航點	任務路徑中預先設定的座標點。