

NAMR-110-054 (委託研究報告)

## 船舶多目標追蹤技術開發委託專業服務案

### 正式報告

國家海洋研究院委託研究

中華民國 110 年 12 月

本研究報告僅供海洋委員會施政參考，並不代表該會政策，該會保留採用與否之權利。」

NAMR-110-054（委託研究報告）

## 船舶多目標追蹤技術開發委託專業服務案

### 正式報告

受委託單位：國立高雄科技大學

研究主持人：翁健二

協同主持人：魏宏哲

研究助理：王威淳、楊 烈、蔡明倫

研究期程：中華民國110年03月至110年12月

研究經費：新臺幣188萬元

國家海洋研究院委託研究

中華民國 110 年 12 月

「本研究報告僅供海洋委員會施政參考，並不代表該會政策，該會保留採用與否之權利。」

「本研究報告絕無侵害他人智慧財產權之情事，如有違背願自負民、刑事責任。」

# 目 次

目 次 .....	I
表 次 .....	III
圖 次 .....	IV
提 要 .....	1
第一章 前 言 .....	4
第一節 研究緣起與背景 .....	4
第二節 研究目的及重點 .....	10
第三節 研究內容及範圍 .....	13
第二章 基本資料蒐集 .....	17
第一節 船舶自動識別系統 .....	17
第二節 船舶排放空氣污染物質 .....	26
第三節 船舶大數據分析應用 .....	31
第四節 多軸無人載具 .....	35
第三章 便攜式多目標圖像平台/操作介面建置 .....	41
第一節 系統架構規劃與介面設計 .....	41
第二節 系統解碼與追蹤功能實測 .....	48
第四章 無人載具之多船舶 AIS 目標自主追蹤軟體開發 .....	54
第一節 船舶 AIS 資料探勘與預處理 .....	54
第二節 無人載具之多船舶 AIS 目標自主追蹤軟體開發 .....	66
第三節 空污監測採樣裝置規劃設計 .....	73
第五章 結論與建議事項 .....	77
第一節 結 論 .....	77
第二節 建 議 .....	78

參考文獻 .....	80
附件一 實海域測試作業申請規範及相關文件 .....	83
附件二 船舶空氣污染排放規範與相關推估 .....	91
附件三 工作計畫書審查會議紀錄及意見回覆表 .....	94
附件四 期中報告書審查會議紀錄及意見回覆表 .....	96
附件五 期末報告書審查會議紀錄及意見回覆表 .....	101



## 表 次

表 1-1	2016-2020 我國國際港口船舶進出港艘次 .....	6
表 1-2	全國各類污染源空氣污染物排放量及比率 .....	7
表 1-3	全國各類運輸業空氣污染物排放量及比率 .....	8
表 1-4	MARPOL 規範之排放管制區 .....	9
表 1-5	MARPOL 之船舶 NO <sub>x</sub> 及硫含量規範 .....	9
表 2-1	IMO 規範之 AIS 回傳週期 .....	20
表 2-2	AIS 物理層特性要求 .....	21
表 2-3	AIS 接收機分時多工最小特性要求 .....	22
表 2-4	AIS 訊息資料類型 .....	23
表 2-5	AIS 封包格式 .....	25
表 2-6	AIS 類別差異比較 .....	25
表 2-7	船舶用油中英文對照表 .....	27
表 2-8	燃料油分類(依含硫量) .....	27
表 2-9	國際商港之 UAV 應用與技術發展 .....	38
表 3-1	MTV 分層任務 .....	42
表 3-2	MAVLink 封包欄位定義 .....	46
表 4-1	CLASS B AIS POSITION REPORT .....	54
表 4-2	AIS 資料欄位數據異常判斷條件 .....	60
表 4-3	MMSI 指配分類 .....	61
表 4-4	空氣品質感測模組 .....	74

## 圖 次

圖 1-1	地理位置坐落東亞航運樞紐.....	5
圖 1-2	船用燃油含硫量限制規範之時序進程.....	10
圖 1-3	研究示意圖.....	13
圖 1-4	研究規劃架構.....	14
圖 2-1	臺灣海域船舶動態資訊系統.....	18
圖 2-2	我國 AIS 岸台基站覆蓋範圍.....	19
圖 2-3	HDFS 架構.....	32
圖 2-4	分散式儲存資料庫結構.....	33
圖 2-5	VRNN 結構.....	34
圖 2-6	載具動力輸出系統架構.....	36
圖 2-7	飛行控制系統運作流程.....	38
圖 3-1	MTV 框架設計模式.....	41
圖 3-2	多目標圖像平台/操作介面開發環境.....	43
圖 3-3	系統平台顯示及控制介面.....	43
圖 3-4	系統平台操作流程.....	44
圖 3-5	載具與系統平台傳輸控制框架.....	45
圖 3-6	載具與系統平台傳輸控制流程.....	45
圖 3-7	MAVLink 封包資料格式.....	46
圖 3-8	資料格式轉換與 MAVLink 執行流程.....	47
圖 3-9	系統實測場域範圍.....	48
圖 3-10	高雄港第一港口第一錨區飛行測試.....	49
圖 3-11	高雄港第二港口船舶進出港航道飛行測試.....	49
圖 3-12	現場環境頻率量測.....	50

圖 3-13	現場環境訊號干擾.....	50
圖 3-14	載具傳輸頻率修正.....	51
圖 3-15	系統平台之 AIS 船舶資料解碼處理 .....	51
圖 3-16	系統平台之 AIS 資料庫 .....	52
圖 3-17	系統平台連線完成之初始狀態.....	52
圖 3-18	載具追蹤測試.....	53
圖 3-19	即時變更追蹤目標船舶.....	53
圖 4-1	排程演算與 AIS 資料整理流程 .....	58
圖 4-2	未處理 AIS 資料量 .....	59
圖 4-3	處理後之 AIS 資料量 .....	59
圖 4-4	重複性 AIS 資料 .....	61
圖 4-5	MMSI 不足 9 碼 .....	62
圖 4-6	MMSI 首位識別碼為‘1’開頭 .....	62
圖 4-7	MMSI 首位識別碼為‘8’開頭 .....	63
圖 4-8	MMSI 首位識別碼為‘9’開頭 .....	63
圖 4-9	船舶航速異常.....	64
圖 4-10	船舶航向異常.....	64
圖 4-11	真航向異常.....	64
圖 4-12	船舶當前位置數據異常.....	65
圖 4-13	AIS 資料特徵與訓練 .....	67
圖 4-14	Elman network 網路架構 .....	68
圖 4-15	$\tanh$ 函數.....	68
圖 4-16	長短期記憶網路架構.....	69
圖 4-17	$\text{sigmoid}$ 函數 .....	69

圖 4-18	雙向循環神經網路架構.....	70
圖 4-19	系統模型架構.....	71
圖 4-20	MMSI：636014866 航行位置預測模擬 .....	72
圖 4-21	MMSI：255805935 航行位置預測模擬 .....	72
圖 4-22	MMSI：563032600 航行位置預測模擬 .....	72
圖 4-23	載具空污監測及採樣裝置架構.....	73

## 提 要

為了使海洋運輸產業船舶能有效降低空氣污染物之排放，我國交通部航港局因應 IMO MEPC 制定之防止船舶污染國際公約規範，於 2019 年 01 月 01 日即開始要求航入臺灣國際商港區域之外籍船舶及國籍船舶應採用 0.5% 以下硫含量之低硫燃油或具有同等減排效應之裝置或替代燃料。本次研究延續 109 年度動態船舶資訊中繼開發與排放廢棄物推估模式研究，以及多軸無人載具自主追蹤目標技術開發的技術成果，開發一船舶多目標追蹤技術針對航行於臺灣沿岸及港埠地區範圍內之船舶低硫燃油使用情形與空氣污染排放狀況進行追蹤調查。由於自主追蹤技術開發的主要目的是希望能夠提供操作人員透過資料平台的介面知悉系統覆蓋範圍內之海上船舶活動情形與相關資訊，並從操作介面選取欲追蹤監測之目標船舶進行多目標船舶追蹤。研究藉由接收船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)資料接收後，進行解碼、資料排程演算除錯，針對 AIS 資料中之重複性資料、不符合船舶 MMSI 格式、船舶航速、航向、真航向及船舶當前位置異常等進行處理，確保後續更新至系統平台資料庫的 AIS 資料品質一致性和完整性。並透過學習演算法與神經網路架構建立船舶航行預測模型，對目標船舶動態資料及 AIS 資料進行數據分析，預測目標船舶航行位置，再將完成船舶航行位置預測的計算結果後，經資料編解碼處理並進行平台資料封包的格式轉換，透過無線傳輸將目標船舶座標傳輸至多軸無人載具，使載具得以自主飛行至預測點進行船舶追蹤。最後，研究則透過技術開發成果與飛行測試結果，規劃一載具可行之空污監測採樣裝置，以利實現船舶進出港之空污排放調查目標。

**關鍵詞：**船舶自動識別系統、多軸無人載具、空氣污染排放檢測、船舶多目標追蹤

## 一、研究緣起

為能有效監測航於臺灣國際商港區域範圍內之船舶是否遵循防止船舶污染國際公約規範，本次研究旨在解析AIS資料庫的AIS資料與船舶各欄位數據，並將其系統船舶資訊結合多軸無人載具做為海上目標船舶監測的行動平台，開發一船舶多目標追蹤技術針對航行於臺灣沿岸及港埠地區範圍內之船舶低硫燃油使用情形與空氣污染排放狀況進行追蹤調查，藉此技術開發過程，規劃一後續適切於我國發展偵測船舶空氣污染排放與船舶低硫燃油切換調查的任務型多軸無人載具，從而知悉我國國際商港區域範圍之海上船舶是否配合政府施行IMO MEPC防止船舶污染國際公約附錄六之防止船舶空氣污染規定，提供後續我國針對船舶低硫燃油使用情形與船舶排放空氣污染影響之研究，進行改善策略或管理機制之研擬的參考依據。

## 二、研究方法及過程

此次研究重點以AIS系統資訊為基礎，透過資料探勘技術進行AIS資料的預處理針對船舶的欄位數據進行解析，獲得有效且正確的海上船舶航行資訊，再將分析後的基礎資料依據特徵及類別進行分類，以學習演算法推估船舶航行軌跡來預測追蹤目標船舶的位置資訊。而後則結合多軸無人載具系統與多目標追蹤圖像平台/操作介面，其平台則可呈現鄰近海域的AIS船舶位置，操作人員可藉由介面所提供的資訊選取欲追蹤之海上目標船舶，經由系統平台的學習演算法進行目標船舶位置資訊的預測，再透過無線傳輸技術將該目標船舶的經緯度座標位置等資訊傳送至多軸無人載具，有效針對沿岸及港埠地區範圍內之船舶低硫燃油使用情形與空氣污染排放狀況進行追蹤調查。

## 三、重要發現

為了追求更為潔淨的海運環境，船舶污染排放規範已愈加嚴苛，船舶氣體排放污染更是諸多沿海國家越來越重視的議題。我國現行船舶空氣污染排放管制與稽查主要權責機關為交通部航港局。為提升港

區空氣品質，自2019年1月1日起外籍船舶及航駛國際航線之國籍船舶，進入我國國際商港、工業港及其錨泊區及其離岸設施等，應採用含硫量0.5%以下低硫燃油或具有同等減排效應之裝置或替代燃料案檢查。船運公司因應低硫燃油政策的主要方式包括加裝洗滌器、脫硫塔等，然在執行稽查時，稽查人員仍需透過登船進行文件稽查，又或是透過船舶航速等資訊，判斷船舶進港是否切換燃油之減速查核方式。在現階段交通部航港局之港口國管制檢查人員(PSCO)人力嚴重不足的情況下，藉由無線通訊、控制技術結合無人載具除可有效減輕PSCO人力不足與工時過長等問題外，亦能藉空品感測資訊、採樣數據提出更為可靠與精確的資料依據，從而契合我國推動海洋事務與空氣污染防治發展之整體規劃。

#### 四、主要建議事項

目前於AIS資料探勘與預處理主要是將獲取的AIS數據進行解碼，並針對AIS資料庫中重複性的AIS資料、因資料接收完整度受影響導致欄位數據錯誤資料及不完整的資料進行剔除。未來在排程除錯的檢測，除偵測數據重複性、是否為船舶AIS資料及欄位格式是否符合ITU制定格式規範外，後續則可再加入邏輯演算判斷，如船舶航向與航速對經緯度座標變化是否合理等，藉以進一步AIS資料庫的數據品質。由於船舶的水上行動業務識別碼(MMSI)識別具備唯一性，因此未來亦可建請交通部航港局提供過往未符合含硫排放標準之船舶資訊，並將其船舶資訊建立於系統AIS資料庫的警示名單。使後續有效協助PSCO在船舶進港進行稽查之目標船舶選定能快速篩選稽查船舶，增加船舶含硫排放標準稽核準確度。

# 第一章 前言

聯合國跨政府氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 針對氣候變遷相關研究提出的第五次評估報告(The Fifth Assessment Report, AR5)<sup>[7]</sup>指出近 30 年全球溫度逐年上升，且全球平均海平面上升速率已超過以往平均上升速度。長久以來，海洋運輸產業一直未被聯合國氣候變化綱要公約之溫室氣體排放減量協議所納入，船舶在運輸過程中由於燃燒大量的燃油導致空氣污染物不斷排放，特別是沿岸航行或是在港期間，船舶所排放之污染物質對於人體健康、生態環境更是造成莫大的影響，如細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)、硫氧化物(SO<sub>2</sub>)及氮氧化物(NO<sub>x</sub>)等<sup>[34]</sup>。有鑑於海洋運輸產業空氣污染物排放量在全球排放比例中日益增長，亦使國際社會開始關注海洋運輸產業之空氣污染物減排的議題<sup>[13][21][23]</sup>，國際海事組織(International Maritime Organisation, IMO)除了倡導船舶降低平均航行速度、船舶加裝脫硫洗滌器降低硫氧化物之排放等方式外，自 2020 年 01 月起亦開始施行較為嚴苛的船舶燃油含硫量排放規定，此次研究重點即是著重於海洋運輸產業之空氣污染物排放進行船舶追蹤監測技術開發，期藉技術開發成果有利後續國內相關管制方案的推動與防治策略的實施。

## 第一節 研究緣起與背景

### 一、研究緣起

全球工業化的快速發展亦提升了海洋運輸所需的商船與港口基礎設施品質，進一步推動國際貿易量的成長。而全球化、自由化的經貿發展使得國際海運需求量逐年上升，亦使貨櫃船舶朝向大型化、快速化與專業自動化等方向發展，根據國際貨櫃化運輸(Containerisation International, CI)雜誌的調查資料指出近五年國際海運貿易的平均增速為 3.4%<sup>[19]</sup>，而 5,000TEU 以上之大型貨櫃船舶佔總運量亦逐年增長，由此可知海洋運輸船舶大型化仍將是未來航運市場發展的重要趨勢。我國地理位置居於東北亞和東南亞交會處，往上航運



路線通往韓國、日本等東北亞各國，往下航運路線通往菲律賓、印尼、泰國、新加坡及馬來西亞等東南亞各國，不僅是東北亞與東南亞海上來往航運的樞紐，在國防戰略、經濟貿易上亦是國際上不可或缺的一員，在整個東亞的地理位置上扮演著極為重要的角色，其優越的地理位置條件，不僅有利我國海洋運輸相關產業發展成為經濟成長的重要推手，亦使臺灣海峽航道成為東亞重要且繁忙的航道之一。

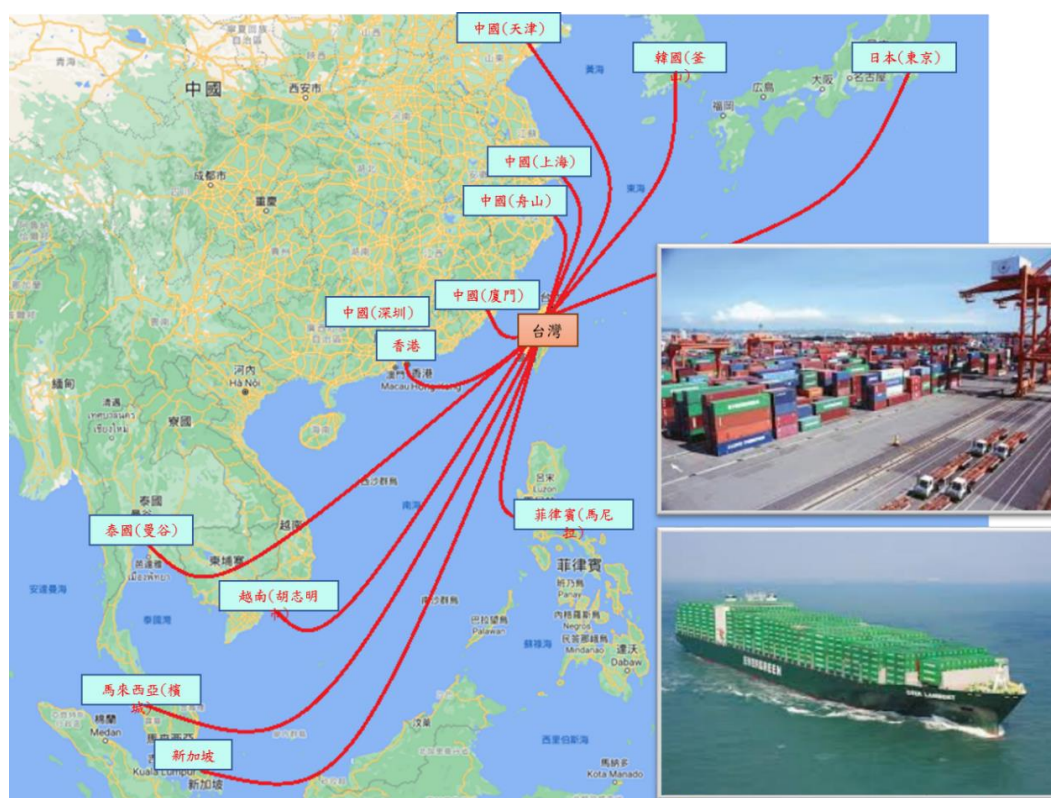
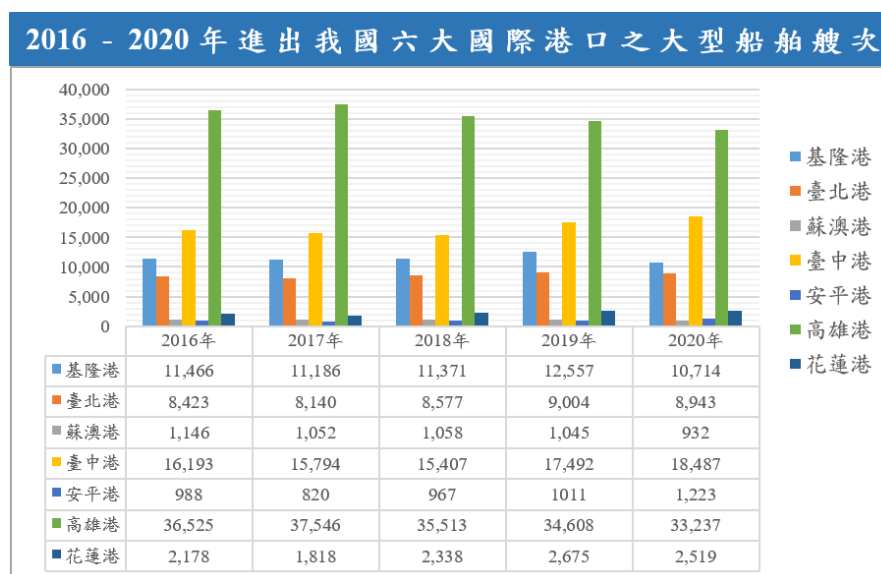


圖 1-1 地理位置坐落東亞航運樞紐

2020 年受新冠肺炎疫情影響，全球經濟出現大幅下滑現象，根據國際貨幣基金組織(International Monetary Fund, IMF)在 2020 年 10 月發布的世界經濟展望報告中指出，2020 年全球經濟成長萎縮 4.4%，是自上世紀 30 年代以來最嚴重的一次經濟成長萎縮。根據經濟合作暨發展組織(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)分析，從經濟層面的角度檢視全球海運貿易價值約佔貿易總價值的 50%<sup>[31]</sup>，可見全球貿易物流的主要方式仍以海洋運輸為大宗，隨著全球疫情逐漸緩解海洋運輸、貿易需求回升，促使

全球海洋海運產業船舶、貨櫃的需求嚴重失衡。海洋帶給全球政經發展之重要性已毋庸置疑，對於海洋權力之主張直接影響國家的安全與發展等權益，我國政府對於海洋政策之目標乃在建立完整的「海洋國家」，強調海洋特色喚起國民海洋意識予以創造優質的海洋環境、安全的海洋活動以及興盛的海洋產業。如表 1-1 所示，自 2013 年「自由貿易港區設置管理條例」的實施，促進我國高附加價值貿易活動之發展，其國內六個國際商港進出港船舶數量大幅增加，近年來亦保持六萬艘次以上之進出量。而後貿易政策自由化以及海洋產業興起等因素促使海事活動日趨熱絡，航經我國海域之船舶數量多不勝數。近年來中國大陸經濟影響力擴大，促使西太平洋海岸掀起一股經濟熱潮進而帶動海運交通量成長。中國大陸於 2013 年倡議一帶一路的跨國經濟合作概念<sup>[18]</sup>，其中由中國山東、江蘇、浙江、福建、廣州、及海南六個沿海省份發展中國和東南亞、南亞、中東、北非及歐洲各國的經濟合作組成 21 世紀海上絲綢之路，近二十餘年的中國大陸沿海貨櫃港發展中，其全球十大貨櫃港從僅有香港入榜，至今中國上海港之貨物吞吐量和貨櫃吞吐量持續成長，已躍升為全球第一，且共七處港口為全球十大貨櫃港，全球近九萬艘商船貨物中的三成須經由臺灣海峽往返中國大陸沿海各港口。

表 1-1 2016-2020 我國國際港口船舶進出港艘次



資料來源：本研究彙整

## 二、研究背景

我國環保署為改善空氣品質及調查全臺空氣污染物排放量，自 1992 年起建立空氣污染排放總量資料庫清冊系統 (Taiwan Emission Data System, TEDS) 進行全國各區域 (涵蓋臺灣本島、澎湖及金馬地區) 與各行業排放量之推估。根據環保署最新 TEDS10<sup>[28]</sup> 資料顯示，非公路運輸污染源，包括航空產業、海洋產業運輸排放空氣污染物於 2016 年之細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)、硫氧化物(SO<sub>x</sub>)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)排放量佔全國排放量之比例分別為 1%、7% 與 5%(如表 1-2、表 1-3 所示)，由此可知運輸產業相關活動排放 PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>x</sub> 與 NO<sub>x</sub> 等污染物之比例已有一定程度之影響。英國自然通訊期刊的研究調查亦顯示全球每年近 40 萬人因為海上船舶所排放之細懸浮微粒造成肺癌或心血管疾病的死亡<sup>[11][12]</sup>。亞洲東部地區其污染範圍大部分分佈在中國所有沿海地區與臺灣西部地區，以及一直向北延伸到日本、韓國之間的國際航道上的沿岸地區，若以人口比例進行初步概算，我國平均每年會有約 3,300 人，因為船舶排放之空氣污染物造成肺癌或心血管疾病的死亡。

表 1-2 全國各類污染源空氣污染物排放量及比率

排放源 \ 污染物	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NMHC
	噸/每年	噸/每年	噸/每年	噸/每年
工業	16,652	82,807	150,157	173,797
車輛	16,862	141	184,275	109,626
非公路運輸	1,808	23,436	26,273	1,220
商業	2,229	2,598	3,577	185,627
營建/道路揚塵	21,406	0	0	48,249
露天燃燒	3,914	1,325	3,424	1,421
其他	871	1,131	9,894	1,070
船舶-港區內	1,698	23,073	21,938	574
船舶-離岸排放	1,080	9,085	12,076	506
總排放量	66,521	143,595	411,614	522,088

資料來源：環保署全國空氣污染物排放清冊<sup>[28]</sup>

表 1-3 全國各類運輸業空氣污染物排放量及比率

<div> <div>污染物</div> <div>排放源</div> </div>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NMHC
	噸/每年	噸/每年	噸/每年	噸/每年
陸上運輸業	11,848	59.31	153,325	22,750
水上運輸業	1,651	23,071	19,937	553
航空運輸業	34.03	364	3,206	386
船舶-離岸排放	1,080	9,085	12,076	506
總排放量	14,614	32,580	188,545	24,197

資料來源：環保署全國空氣污染物排放清冊<sup>[28]</sup>

IMO 是聯合國負責海上航行安全和防止船舶造成海洋污染的一專門機構，其主要專責海洋安全、保安及船舶造成污染與防治等相關國際規範之發展及實行，所訂定規範包括針對各層面訂定環境保護規章，使會員國能夠遵守並解決因全球化發展導致航運大量增加，海事活動增加造成海洋環境急遽惡劣的問題。為使海洋運輸產業船舶能有效降低空氣污染物之排放，IMO 訂定國際海洋運輸產業之營運船舶每年平均需減少 30% 之 NO<sub>x</sub> 排放量，並不斷依據目標修正船舶燃油含硫量排放規定，藉以限制船舶航行所產生的空氣污染排放量。該公約規範適用於 2000 年 01 月 01 日起所有新燃料油之使用船舶<sup>[32]</sup>，其公約除了溫室氣體的減排管制外，亦在 2005 年 05 月時修定加強管制海洋運輸產業所排放之 SO<sub>x</sub> 與 NO<sub>x</sub> 排放量，並於排放控制區 (Emission Control Area, ECA) 內有更為嚴苛的規範。依據 MARPOL 73/78 公約附則六之規範顯示，在硫氧化物管制區 (SO<sub>x</sub> Emission Control Area, SECA) 則制定了更加嚴格的排放規定，如表 1-4、表 1-5 所示。屬於該管制區範圍，包括：波羅的海、北海、北美及加勒比海等地區。於此區域內之船用燃油含硫量不得高於 0.1%。

表 1-4 MARPOL 規範之排放管制區

排放管制區域	提案日期	提案通過日期	正式生效日期
波羅的海 (SO <sub>x</sub> )	1997 年 09 月 26 日	2005 年 05 月 19 日	2006 年 05 月 19 日
北海 (SO <sub>x</sub> )	2005 年 07 月 22 日	2006 年 11 月 22 日	2007 年 11 月 22 日
北美 (SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , PM)	2010 年 03 月 26 日	2011 年 08 月 01 日	2012 年 08 月 01 日
加勒比海 (SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , PM)	2011 年 07 月 26 日	2013 年 07 月 01 日	2014 年 07 月 01 日

資料來源：陳欣伶<sup>[32]</sup>表 1-5 MARPOL 之船舶 NO<sub>x</sub> 及硫含量規範

適用範圍	正式生效日期	氮氧化物 (NO <sub>x</sub> )	燃油含硫量
SECA 管制區域	2005 年 05 月	-	1.5%
	2010 年 06 月	-	1%
	2015 年 01 月	-	0.1%
	2016 年 01 月	第三階段：經過處理	-
全球	2011 年 01 月之前	第一階段：引擎控制	-
	2011 年 01 月	第二階段：引擎控制	-
	2012 年 01 月之前	-	4.5%
	2012 年 01 月	-	3.5%
	2020 年 01 月	-	0.5%

資料來源：陳欣伶<sup>[32]</sup>

隨著越來越多的科學研究顯示全球氣候危機迫在眉睫，為追求更為潔淨的海運環境，國際海事組織對於船舶污染排放規範已制定愈加嚴苛的相關法規。除前述 IMO MARPOL 73/78 公約對全球海洋運輸產業全面性的管制規範外，各國亦陸續針對該議題提出相關政策。以臺灣為例，為提昇環境品質及維護國人健康，環保署於 2012 年 5 月 14 日增訂細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)周界空氣品質標準之 24 小時值與年平均值分別為 35 µg/m<sup>3</sup> 與 15 µg/m<sup>3</sup>。在因應細懸浮微粒之管制部分，環保署則於 2015 年 11 月 17 日頒布「空氣品質嚴重惡化緊急防制辦法」部分修正，並於 2016 年 8 月 5 日公告各縣市之空氣品質防制區劃分結果，其調查結果發現除臺東縣外，其餘縣市地區均為細懸浮微粒之三級



防制區，亦表示這些地區未達細懸浮微粒之周界空氣品質標準。此外，交通部航港局亦因應 IMO MEPC 修訂「防止船舶污染國際公約(MARPOL)」附錄 VI「防止船舶空氣污染規則」第 14.1.3 條之規定，於 2019 年 01 月 01 日即開始管制航入臺灣國際商港區域之外籍船舶及國籍船舶應採用 0.5% 以下硫含量之低硫燃油或具有同等減排效應之裝置或替代燃料。

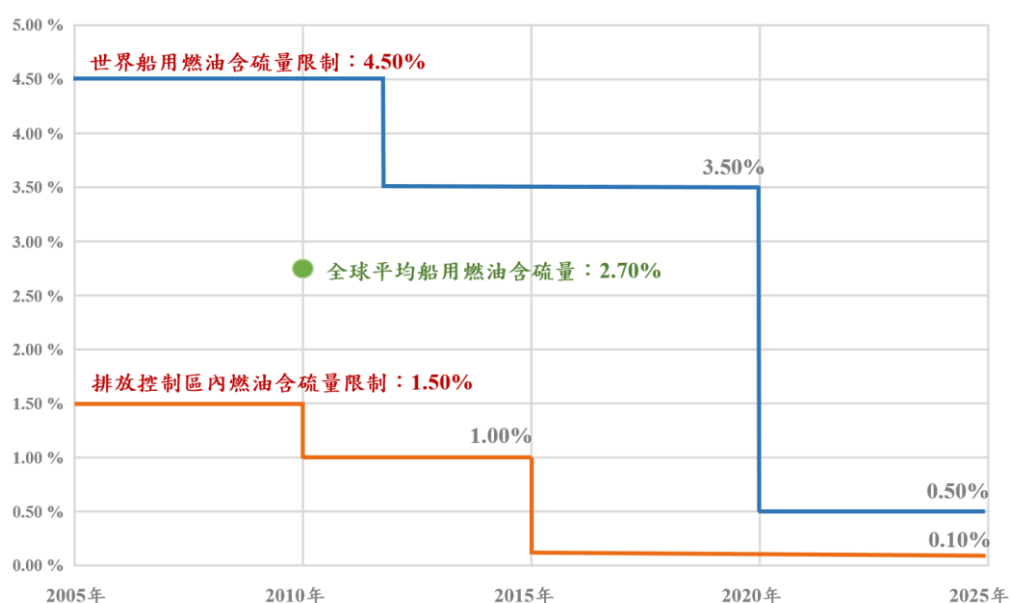


圖 1-2 船用燃油含硫量限制規範之時序進程

## 第二節 研究目的及重點

### 一、研究目的

我國在船舶空氣污染影響之相關研究議題一直備受重視，依據 2019 年國立成功大學劉大綱教授等人的研究報告<sup>[20]</sup>指出，船舶空氣污染可能對人類健康及海洋造成重大影響。在該研究背景中亦述明 40 萬因肺癌或心血管疾病過早死亡的人口中約有 23.8 萬人為中國大陸、日本、韓國及臺灣，其中中國大陸則是占比最高的國家，主要是因我國西岸臺灣海峽之海域範圍為全球海上運輸最為繁忙的航線之一，亦是排放 PM<sub>2.5</sub> 最多的航道。此研究以船舶活動強度為基準，針對高雄港貨櫃船燃料油耗所產生的空氣污染物排放作為研究對

象。船舶活動則是由船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)系統進行調查，目的是為了追蹤船舶的航行及位置，並計算對應的空氣污染物排放。研究發現貨櫃船、散貨船和油輪所排放的空氣污染物約佔總污染物的90%。與高雄市陸源排放相比，SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>的排放量分別佔43%和23%。同時也探討了以市場為基礎的管理策略，最後建議強制使用低硫燃料，可減少船舶空氣污染。過去二十餘年全球海上運輸貨物量成長率近3倍，隨著船舶數量增加、航線日益密集，國內居民的呼吸道疾病、肺癌與小兒過敏氣喘人口比例也跟著節節攀升。海洋運輸載重量相當大，從數千公噸至數十萬公噸皆有。雖然海洋運輸船舶航行速度較為緩慢，雖使用重油做為燃料其運輸成本較低廉，然而由於載重量大的情況下，相對燃油消耗量亦跟著提升。船舶所使用的主機為低速二行程柴油內燃機直接連結推進器以驅動船舶行進，即便機艙設有多種廢能回收裝置提高主機及其輔機的熱效率，其空氣污染物排放量仍相當大。

在航經臺灣海域之船舶數量繁多且海上交通運輸活動日趨熱絡、頻繁興盛的狀況，船舶所排放之細懸浮微粒、各種空氣污染物已不容忽視。目前國內船舶空污監測，大多以港口監測為主，或以Models-3/CMAQ模式結合氣象局風場資訊進行一次原生性污染物、二次衍生性污染物之影響情形模擬推估。而船舶使用低硫燃油檢查作業流程，則需由船旗國或港口國管制檢查員遴選船隻、登船進行相關文件及紀錄簿查驗，或由地方環保機關及航港局人員現場採集油品送驗確認。為配合政府施行IMO MEPC防止船舶污染國際公約附則六之防止船舶空氣污染規定，本次研究主要是結合109年度動態船舶資訊中繼開發與排放廢棄物推估模式研究及多軸無人載具自主追蹤目標技術開發的技術成果，以AIS系統做為數據源開發一船舶多目標追蹤技術，透過多軸無人載具針對航行於臺灣沿岸及港埠地區範圍內之船舶進行追蹤調查。在前期研究成果中，已完成各項AIS標準、規範，包含AIS訊息資料類型、訊息

長度以及標頭格式的解析，並經解碼後獲取 AIS 船舶的各欄位資料及封包內容，如船舶水上行動業務識別號碼(Maritime Mobile Service Identity, MMSI)、航速、航向及經緯度座標等資訊，其解碼後的資訊則可提供系統平台在無人載具進行目標船舶追蹤時的數據分析與船舶航跡預測運算。

為解決 AIS 資料接收與運算處理的時間差可能產生載具陷入不斷追尋目標船舶歷史航點的迴圈情形，本次研究則進一步對 AIS 系統資料庫的數據源進行前置預處理，剔除 AIS 資料庫中重複性、錯誤或數據不完整的 AIS 資料，確保 AIS 資料庫的資料品質與一致性和完整度。而後則透過學習演算法與神經網路架構的方式針對目標船舶動態資料及 AIS 資料進行數據分析，透過演算法預測目標船舶航行位置，改善前期研究多軸無人載具進行目標船舶追蹤時因時間差產生追尋目標船舶歷史航點的情況。其演算法完成船舶航行位置預測的計算後，再經資料編解碼處理、格式轉換與無線傳輸技術將目標船舶座標傳輸至多軸無人載具的圖像顯示平台，透過系統平台的操作即可驅動多軸無人載具自主進行海上多目標船舶的追蹤。

## 二、研究重點

從前述背景、目的的綜合分析可以知道，長期以來臺灣部分地區空氣品質不良比例偏高，特別是西岸臺灣海峽之海域範圍及西半部沿海週遭地區更為嚴重。尤其對於人體健康影響甚鉅的衍生性空氣污染物，如細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)、硫氧化物(SO<sub>x</sub>)及氮氧化物(NO<sub>x</sub>)等，在特定區域污染物濃度偏高的現象，不僅一直是環境空氣品質無法獲得有效控制及改善的重要關鍵，更是造成國內於呼吸道、肺癌與小兒過敏氣喘人口比例節節上升的原因之一。為能有效監測航於臺灣國際商港區域範圍內之船舶是否遵循防止船舶污染國際公約規範，此次研究重點以 AIS 系統資訊為基礎，透過資料探勘技術進行 AIS 資料的預處理針對船舶的欄位數據進行解析，獲得有效且正確的海上船舶航行資訊，再將分析後的基礎資料依據特徵及類別進行分類，以學習演算法推估船舶



航行軌跡來預測追蹤目標船舶的位置資訊。而後則結合多軸無人載具系統與多目標追蹤圖像平台/操作介面，其平台則可呈現鄰近海域的 AIS 船舶位置，操作人員可藉由介面所提供的資訊選取欲追蹤之海上目標船舶，經由系統平台的學習演算法進行目標船舶位置資訊的預測，再透過無線傳輸技術將該目標船舶的經緯度座標位置等資訊傳送至多軸無人載具，多軸無人載具即自主飛行至目標船舶的預測經緯度座標位置進行追蹤調查。

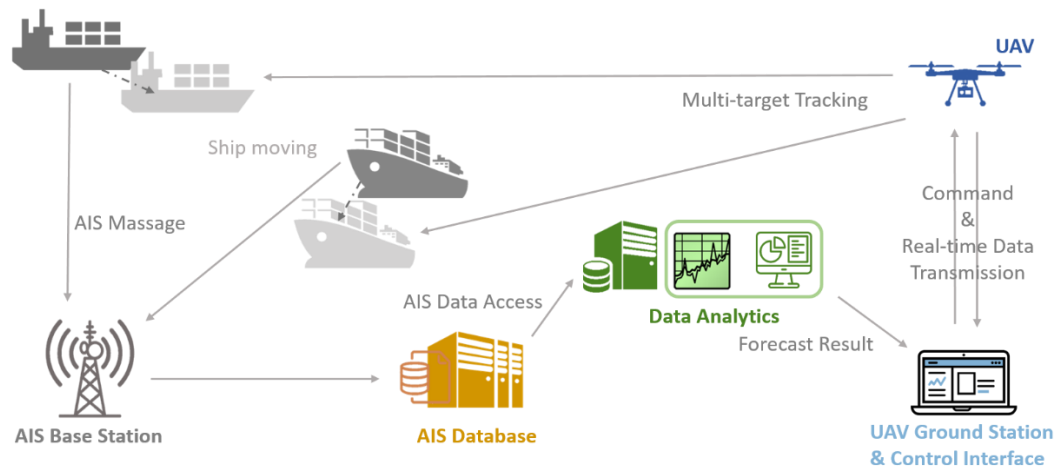


圖 1-3 研究示意圖

### 第三節 研究內容及範圍

#### 一、研究內容

此次研究內容部分，依據研究工作項目分為四階段進行，分別為「船舶 AIS 資料探勘與便攜式多目標圖像平台/操作介面建置」、「無人載具之多船舶 AIS 目標自主追蹤軟體開發」、「無人載具空污監測採樣裝置規劃設計」及「多目標監測之無人載具系統實測」。

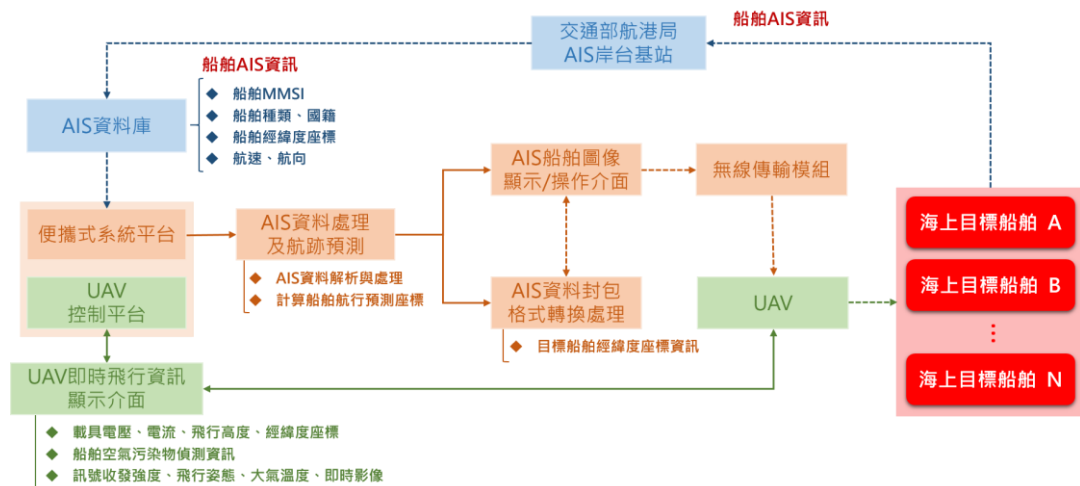


圖 1-4 研究規劃架構

#### 1. 船舶 AIS 資料探勘與便攜式多目標圖像平台/操作介面建置：

為改善前期無人載具在進行目標船舶追蹤時，因時間差產生追尋目標船舶歷史航點的情況，此次系統平台建置則開發一目標船舶航跡追蹤預測功能，該功能主要是透過學習演算法對目標船舶動態資料及 AIS 資料進行數據分析，藉由目標船舶當前 AIS 資訊與歷史 AIS 資料計算下一航行位置。而平台建置預計使用具備自由軟體協議(GNU General Public License, GPL)的開源軟體進行控制操作與資訊顯示之 GUI 介面設計，其系統平台之介面功能與顯示資訊包括：AIS 資料接收與解碼功能、無人載具飛行指令操作功能、地理圖資資訊、AIS 船舶座標預測資訊、載具飛行狀態資訊與空中拍攝影像等。

#### 2. 無人載具之多船舶 AIS 目標自主追蹤軟體開發：

載具追蹤海上目標船舶的資訊依據是以 AIS 的船舶經緯度座標為主要識別數據，因此在接收船舶 AIS 資料後則需依序進行 AIS 資料欄位格式解碼、資料排程演算除錯，剔除重複性、不符合船舶 MMSI 格式、船舶航速、航向、真航向及船舶當前位置異常等 AIS 資料，確保系統平台資料庫的 AIS 資料品質。接著，則透過學習演算法與神經網路架構的方式建立船舶航行預測模型，針對目標船舶動態資料及 AIS 資料進行數據

分析，預測目標船舶的下一航行位置，其演算法完成船舶航行位置預測的計算結果後，經資料編解碼處理並進行平台資料封包的格式轉換，透過無線傳輸將預測座標傳輸至多軸無人載具，使載具得以自主飛行至預測點進行船舶追蹤。

### 3. 無人載具空污監測採樣裝置規劃設計：

為使載具達成海上船舶空污排放追蹤監測目的，在此項目研究規劃以無線通訊控制技術結合微型控制器進行載具掛載採樣鋼瓶與空品感測器之可行設計，整體設計擬透過空品感測器獲取即時的空氣品質監測資訊並回傳至地面的系統平台，操作人員藉由平台顯示介面知悉當前載具追蹤目標船舶的空氣污染排放數據變化，評估是否啟動鋼瓶進行氣體採樣。

### 4. 多目標監測之無人載具系統實測：

載具系統實海域飛行測試作業，根據我國進出港大型船舶數量與艘次等統計資料，其飛行測試場址選定以國內較具代表性之國際商港(高雄港)做為進行系統相關測試之場域，實測項目包括：AIS 資料接收與即時解碼、載具飛行指令操作、載具飛行狀態資訊回傳、即時空中影像、載具自主追蹤、多船舶目標追蹤、自動返航等功能。此外，為減少現場環境訊號干擾之影響，研究以頻譜訊號分析設備進行現場環境勘測及訊號量測，確認載具傳輸頻率不受現場環境干擾。

## 二、研究範圍

船舶交通流量增長亦表示海上航行危險性與海難事故風險相對提升，為確保船舶航行安全，以及預防來自海難事故船舶所造成之污染，各海運國家對船舶之檢查機制從船旗國監督(Flag State Control, FSC)檢查制度，循序因應船舶之流動性致使無法定時、定點接受船旗國檢查的限制下，遂發展為港口

國監督(Port State Control, PSC)檢查制度，港口國管制即是各國航政主管機關，為確保在其港口的外國籍船舶能符合有關海事安全、防止污染國際公約規定而對該等船舶所施行的檢查，透過此一地區性合作之監督檢查機制，遵照統一標準，對航行進出其港口水域之外國籍船舶依一定之比例進行的船體、機器、設備或操作安全等船舶實質試航性查驗程序，以確保海上的人命、船舶、貨物的安全外，並致力於海洋環境的保護。為追求更為潔淨的海運產業發展、加強海上安全及保護海洋環境，區域性港口國監督之檢察制度已經成為當今成效顯著的利器與全球海運界的重要共識。

我國雖非協議締約國，毋須強制遵從 MARPOL 公約，然污染防範與管制為全球莫不關注之重要議題。鑒於國際間港口國監督檢查機制已是目前海運監理工作之重要趨勢，為增進我國海域航行安全、維護海洋生態環境。此次研究技術開發將著重於開發可應用於船舶空污排放追蹤及偵測技術多軸無人載具系統建置，並藉此技術開發過程，規劃一後續適切於我國發展偵測船舶空氣污染排放與船舶低硫燃油切換調查的任務型多軸無人載具，予以協助我國海洋委員會、國家海洋研究院、交通部航港局及臺灣港務股份有限公司等單位對於我國海洋事務與污染防治的規劃上，提供一個技術發展方向與策略制定的輔助。此次研究之技術開發最終目的是希望在後續能夠有效調查進入我國國際商港區域的船舶，是否符合 MARPOL 規範使用 0.5% 以下硫含量之低硫燃油或替代燃料。由於無人載具追蹤海上 AIS 船舶是以 AIS 系統資料庫之船舶經緯度做為追蹤依據，因此研究受調查船舶對象則以具備 AIS 系統收發設備之貨輪、商船、郵輪及客輪等進入我國國際商港區域範圍船舶為此次研究監測目標船舶。

## 第二章 基本資料蒐集

在基本資料蒐集部分，研究將分別對船舶自動識別系統(AIS)、港區及船舶空污種類與相關法令規範、船舶大數據分析應用與多軸無人載具系統等議題之發展、技術規範與應用進行文獻蒐集，並做一資料彙整及探討。

### 第一節 船舶自動識別系統

自 1992 年起國際海事組織、國際航標協會(International Association of Lighthouse Authorities, IALA)和國際電信聯盟經過多次的研究規劃，定義了船舶自動識別系統的架構與技術內容，而後隨著資通訊技術的發展和海上交通運輸量的攀升，AIS 漸漸在海洋事務管理應用上發揮效益。國內於針對海洋事務的管理方法與方向部分，逐漸拓展為船舶交通服務系統(Vessel Traffic Service, VTS)與船舶自動識別系統的結合應用，利用 AIS 特點擴大 VTS 的工作範圍並提高 VTS 精度，因此 AIS 於國內的發展備受重視。

#### 一、船舶自動識別系統研究與發展

國際上為了航行安全與效率皆規範船舶、港埠皆須安裝或建置相關資通訊系統。雖然雷達圖、自動雷達標繪儀(Automatic Radar Plotting Aid, ARPA)等航海儀器設備具備識別海上船舶的功能，但仍是提供船舶相關航行輔助資訊為主要目的，並無法有效改善航海船舶間避免相互碰撞的狀況發生，而 AIS 技術的發展即是針對海上船舶航行的安全應運而生，AIS 可以解讀系統資訊覆蓋範圍內所監測到的船舶動靜態資訊，提供船舶其週遭的海上航行環境狀況，最大程度避免航海船舶間相互碰撞的狀況，為海上航行監控帶來革命性的進步，且亦被視為智慧型海洋運輸系統的重要環節之一。2003 年交通部科技顧問室委託國內學術單位的「船舶自動識別與報告系統整合規劃之研究<sup>[38]</sup>」計畫中完成了臺灣沿岸 AIS 網路之規劃與相關試驗。研究單位結合地理資訊系統(Geographical Information System, GIS)和電子海圖岸線資料，並利用

MAPINFO 地理資訊系統的 Vertical Mapper 工具模組進行空間視域分析，另以 Line-of-sight 可見範圍做為較嚴格的無線電涵蓋範圍的規劃，由於 AIS 岸台基站傳輸有效距離僅約 20 至 25 海里，因此其監測範圍主要屬於近海、沿岸區域之船舶動態的監測及航行安全管理。2007 年，行政院海洋事務推動小組決議「加強推動臺灣各商港及港灣技術研究中心建置船舶自動識別系統，並提供海巡署進行初步鏈結同時強化商港船舶交通服務中心設備與功能」，為將 AIS 結合海巡雷達偵測系統 (CGARIS) 數據與船舶交通服務系統、電子海圖和地理情報資訊，達到掌握海面即時狀況和海上船舶活動情形以供指揮調度勤務進行，因此交通部運輸研究所港灣研究中心積極針對臺灣本島及離島沿岸地區進行 AIS 接收站的佈建<sup>[29]</sup>。

2009 年至 2011 年，交通部運輸研究所港灣研究中心已經完成基隆港、臺中港、高雄港、花蓮港、蘇澳港、臺北港、嘉義布袋漁港、苗栗外埔漁港等 8 個主要港口與澎湖馬公港、蘭嶼開元港、金門水頭港、馬祖碧山等 4 個離島的船舶自動辨識系統接收站設置，整合船舶動態資料利用 AIS 資料庫和網頁伺服器建置臺灣海域船舶動態資訊系統如圖 2-1 所示，提供船舶航行公開資訊，並開發相關地理資訊、船舶統計分析等功能模組供操作使用<sup>[27]</sup>。



圖 2-1 臺灣海域船舶動態資訊系統



2016 年於黃茂信、邱永芳等人所發表之「臺灣海域船舶自動識別系統(AIS)之研究」文獻中<sup>[35]</sup>，探討如何運用目前交通部運輸研究所港灣研究中心所架設的 AIS 岸台基站，蒐集臺灣週遭海域範圍之船舶即時資訊及船舶歷史軌跡，來分析與統計行經臺灣海域的船舶特性及航路分布情況，藉以提供最佳化的航線，或是提供船難發生歷程給防救災單位來進行必要的救援工作及釐清船難的責任歸屬，在 108 年度交通部運輸研究所港灣研究中心已陸續完成全台共 27 處之 AIS 岸台基站佈建，並於 108 年度期間將我國的 AIS 系統移交至交通部航港局。為有效提升我國船舶航行安全，減少海難發生，並強化海難救助能量監控我國海域交通流，航港局亦持續評估航行風險並規劃或調整航標與航路系統之設置，於全國燈塔進行 AIS 岸台基站之建置及整合。



資料來源：交通部航港局

圖 2-2 我國 AIS 系統架設區域

## 二、船舶自動識別系統技術規範

AIS 主要可分為 Class A、Class B 兩類，其中 Class A 為滿足國際海事組織(IMO)所規範的性能標準和運輸規範之船載設備，應達到能夠接收和傳送包含重要導航警示或重要氣象警告的簡短安全訊息，於國際海上人命安全公約中規範 300 總噸以上國際航線船舶、500 總噸以上國內航線船舶、所有客輪皆須安裝 Class A 之船載設備。而 Class B 為普通船載設備，又可分為採用自組織時分多重擷取技術(Self-Organized Time Division Multiple Access, SOTDMA)及載波監聽分時多重擷取(Carrier Sense Time Division Multiple Access, CSTDMA)技術兩種型式，可以達到與其它 AIS 設備溝通但並不完全符合 IMO 性能標準，而此次研究所接收與處理之 AIS 資訊則囊括兩類型的 AIS 數據資料。其國際電信聯盟(International Telecommunication Union, ITU)所訂定 AIS 回傳週期如下表所示<sup>[16][17]</sup>：

表 2-1 IMO 規範之 AIS 回傳週期

Class A 船舶動態狀態	回傳週期
下錨或靠岸且航速小於 3 節	3 分
下錨或靠岸且航速大於 3 節	10 秒
航速 0~14 節	10 秒
航速 0~14 節且正改變航向	3.33 秒
航速 14~23 節	6 秒
航速 14~23 節且正改變航向	2 秒
航速大於 23 節	2 秒
航速大於 23 節且正改變航向	2 秒
Class B 船舶動態狀態	回傳週期
航速小於 2 節(SO)	3 分
航速 2~14 節(SO)	30 秒
航速 14~23 節(SO)	15 秒



航速大於 23 節(SO)	5 秒
航速小於 2 節(CS)	3 分
航速大於 2 節(CS)	30 秒
<b>平台</b>	<b>回傳週期</b>
搜索與救援飛機	10 秒
導航輔助	3 分
AIS 站台	10 秒

資料來源：ITU-R. M. 1371-5<sup>[16]</sup>

AIS 物理層特性要求，包含操作頻道、通道間距、輸出功率等如表 2-2 所示，其中較為重要的參數則是 AIS 兩個通訊頻道的頻率點。

表 2-2 AIS 物理層特性要求

Symbol	Parameter name	Units	Low setting	High setting
PH.RFR	Regional frequencies (range of frequencies within RR Appendix 18)	MHz	156.025	162.025
PH.CHS	Channel spacing (encoded according to RR Appendix 18 with footnotes)	kHz	25	25
PH.AIS1	AIS 1 (default channel 1)	MHz	161.975	161.975
PH.AIS2	AIS 2 (default channel 2)	MHz	162.025	162.025
PH.BR	Bit rate	bit/s	9,600	9,600
PH.TS	Training sequence	Bits	24	24
PH.TXP	Transmit output power	W	1	12.5 / 5

資料來源：ITU-R. M. 1371-5<sup>[16]</sup>

AIS 接收機分時多工最小特性要求如表 2-3 所示，其中較為重要的參數為 AIS 接收機之靈敏度要求為能夠解析訊號強度-107dBm 以上之 AIS 訊號。

表 2-3 AIS 接收機分時多工最小特性要求

Receiver parameters	Values		
	Packet Error Rate	Wanted signal	Unwanted signal
Sensitivity	20%	-107 dBm -104 dBm @ $\pm 500$ HZ	
Error at high input levels	2%	-77 dBm	
	10%	-7 dBm	
Co-channel rejection	20%	-101 dBm	-111 dBm @ $\pm 1$ k HZ
Adjacent channel selectivity	20%	-101 dBm	-31 dBm
Spurious response rejection	20%	-101 dBm	-31 dBm
Intermodulation response rejection	20%	-101 dBm	-36 dBm
Blocking and desensitization	20%	-101 dBm	-23 dBm(<5 MHz) -15 dBm (>5 MHz)
Spurious emissions	-57 dBm @9 kHz ...1 GHz -47 dBm @1 GHz ...4 GHz		

資料來源：ITU-R. M. 1371-5<sup>[16]</sup>

目前已定義的 AIS 訊息資料類型(Message Type)有 27 種如表 2-4 所示，分別適用於 Class A 和 Class B 中數據傳輸使用，而每種資料類型所定義的欄位格式和存放資訊內容又有所差異，以 Message 1 至 Message 3 來舉例，該資料類型為 Class A 進行船舶位置訊息回報所適用，而 Class B 的船舶位置訊息回報則為 Message 18。其 AIS 採用的封包格式皆由 256bits 組成，如表 2-5 所示：

表 2-4 AIS 訊息資料類型

Message ID	Name	Description	Priority	Access scheme	Communication state
1	Position report	Scheduled position report; Class A shipborne mobile equipment	1	SOTDMA, RATDMA, ITDMA	SOTDMA
2	Position report	Assigned scheduled position report; Class A shipborne mobile equipment	1	SOTDMA	SOTDMA
3	Position report	Special position report, response to interrogation; Class A shipborne mobile equipment	1	RATDMA	ITDMA
4	Base station report	Position, UTC, date and current slot number of base station	1	FATDMA, RATDMA	SOTDMA
5	Static and voyage related data	Scheduled static and voyage related vessel data report; Class A shipborne equipment	4	RATDMA, ITDMA	N/A
6	Binary addressed message	Binary data for addressed communication	4	RATDMA, FATDMA, ITDMA	N/A
7	Binary acknowledgement	Acknowledgement of received addressed binary data	1	RATDMA, FATDMA, ITDMA	N/A
8	Binary broadcast message	Binary data for broadcast communication	4	RATDMA, FATDMA, ITDMA	N/A
9	Standard SAR aircraft position report	Position report for airborne stations involved in SAR operations only	1	SOTDMA, RATDMA, ITDMA	SOTDMA ITDMA
10	Standard SAR aircraft position report	Request UTC and date	3	RATDMA, FATDMA, ITDMA	N/A
11	UTC/date response	Current UTC and date if available	3	RATDMA, ITDMA	SOTDMA
12	Addressed safety related message	Safety related data for addressed communication	2	RATDMA, FATDMA, ITDMA	N/A
13	Safety related acknowledgement	Acknowledgement of received addressed safety related message	1	RATDMA, FATDMA, ITDMA	N/A
14	Safety related broadcast message	Safety related data for broadcast communication	2	RATDMA, FATDMA, ITDMA	N/A

15	Interrogation	Request for a specific message type can result in multiple responses from one or several stations	3	RATDMA, FATDMA, ITDMA	N/A
16	Assignment mode command	Assignment of a specific report behaviour by competent authority using a Base station	1	RATDMA, FATDMA	N/A
17	DGNSS broadcast binary message	DGNSS corrections provided by a base station	2	FATDMA, RATDMA	N/A
18	Standard Class B equipment position report	Standard position report for Class B shipborne mobile equipment to be used instead of Messages 1, 2, 3	1	SOTDMA, ITDMA, CSTDMA	SOTDMA, ITDMA
19	Extended Class B equipment position report	No longer required. Extended position report for Class B shipborne mobile equipment; contains additional static information	1	ITDMA	N/A
20	Data link management message	Reserve slots for Base station(s)	1	FATDMA, RATDMA	N/A
21	Aids-to-navigation report	Position and status report for aids-to-navigation	1	FATDMA, RATDMA	N/A
22	Channel management	Management of channels and transceiver modes by a Base station	1	FATDMA, RATDMA	N/A
23	Group assignment command	Assignment of a specific report behavior by competent authority using a Base station to a specific group of mobile	1	FATDMA, RATDMA	N/A
24	Static data report	Additional data assigned to an MMSI Part A: Name Part B: Static Data	4	RATDMA, ITDMA, CSTDMA, FATDMA	N/A
25	Single slot binary message	Short unscheduled binary data	4	RATDMA, ITDMA,	N/A

		transmission Broadcast or addressed		CSTDMA, FATDMA	
26	Multiple slot binary message with Communications State	Scheduled binary data transmission Broadcast or addressed	4	SOTDMA, RATDMA, ITDMA, FATDMA	SOTDMA, ITDMA
27	Position report for long range applications	Class A and Class B "SO" shipborne mobile equipment outside base station coverage	1	MSSA	N/A
28-63	Undefined; Reserved for future use	N/A	N/A	N/A	N/A

資料來源：ITU-R. M. 2092-0<sup>[17]</sup>

表 2-5 AIS 封包格式

Ramp up	Training sequence	Start flag	Data	FCS	End flag	Buffer
8 bits	24 bits	8 bits	168 bits	16 bits	8 bits	24 bits

資料來源：ITU-R. M. 2092-0<sup>[17]</sup>

由於國際海事組織、國際航標協會和國際電信聯盟所定義的 AIS 類型規範及實際使用狀況仍具有些微之差異<sup>[1]</sup>，研究將其彙整並提出其差異比較，如表 2-6 所示。

表 2-6 AIS 類別差異比較

	Class A	Class B-SO	Class B-CS
主要採用技術	SOTDMA		CSTDMA
頻段	156.025 ~ 162.025 MHz (頻寬 25kHz)		161.500 ~ 162.025 MHz (頻寬 25kHz)
Digital Selective Calling	專用接收機	TDMA 接收機	
傳輸功率	12.5 W	5 W	2 W
位置資訊來源	船舶專用電子定位系統為		Internal GNSS

	主; Internal GNSS 為後備		
位置資訊回報	Message 1: : MMSI, Time-stamp, Position, Position Accuracy flag, RAIM flag, COG, SOG, HDG, ROT, Navigation Status, Communication State;  Message 18: 省略了 ROT、Navigation Status 並添加: Type (SO/CS), Operating Mode, and, availability of a Display, DSC Receiver, Full/Limited Bandwidth, and Channel Management		
靜態和航程資訊回報	每 6 分鐘回傳訊息 (Message 5)	每 6 分鐘回傳訊息 (Message 24A&B)	
	Message 5 : MMSI, IMO#, Call-sign, Name, Ship Type, Dimensions, Static Draft, Destination, ETA, EPFS type, Data Terminal availability, AIS version;  Message 25A&B ; 添加了 Vendor ID 並省略了 IMO#, Static Draft, Destination, ETA, Data Terminal availability, AIS version		
應用和安全資訊	接收和傳輸	選擇接收，不能傳輸	
顯示和介面	Minimal Keyboard Display (MKD) ; 多重介面	選擇性裝設 ; 1 個輸出/入端口	選擇性裝設
測試標準	IEC 61993-2	IEC 62287-2	IEC 62287-1
USCG Approval No.	USCG 165.155/x/x	USCG 165.157/x/x	USCG 165.156/x/x

資料來源：U.S. COAST GUARD NAVIGATION CENTER<sup>[1]</sup>

## 第二節 船舶排放空氣污染物質

常用的船用燃料，主要包括輕柴油、重柴油、燃料油、渣油型燃料油；具體包括：0#柴油、10#柴油、20#重柴、4#燃料油、120#燃料油、180#燃料油、380#燃料油。根據船舶噸位的不同（所使用發動機大小與種類不同），各種船舶使用的船舶燃料亦不同。海運輕柴油通常適用於中、高速柴油機的燃料；海運重柴油適用於中、低速柴油機的燃料。主機通常用低速柴油機或中速柴油機，輔助引擎通常是中速柴油機或高速柴油機。

表 2-7 船舶用油中英文對照表

縮 寫	燃 料 / 引 擎 種 類	
HFO	Heavy Fuel Oil	重質燃料油
IFO	Intermediate Fuel Oil	中間燃料油
VLFSO	Very Low Sulphur Fuel Oil	低硫燃料油
MDO	Marine Diesel Oil	海運重柴油
MGO	Marine Gas Oil	海運輕柴油
LNG	Liquefied Natural Gas	液化天然氣
SSD	Slow-speed diesel (Engine)	低速柴油機
MSD	Mediumspeed diesel(Engine)	中速柴油機
HSD	High-speed diesel (Engine)	高速柴油機

船用燃油種類的一個關鍵區別是其含硫量。根據 ISO 8217，最高含硫量不得超過 3.5%。就含硫量而言，可區分 4 種不同類別，如表 2-8 所示：

表 2-8 燃料油分類(依含硫量)

縮 寫	英 文 名 稱	中 文 名 稱	最 大 含 硫 量
HSFO	High Sulfur Fuel Oil	高硫燃料油	3.5%
LSFO	Low Sulfur Fuel Oil	低硫燃料油	1.0%
VLSFO	Very Low Sulfur Fuel Oil	極低硫燃料油	0.5%
ULSFO	Ultra-Low Sulfur Fuel Oil	超低硫燃料油	0.1%

依據前述背景目的說明可以知道船舶在運輸過程中由於燃燒大量的燃油導致空氣污染物不斷排放，根據 2020 年英國利物浦約翰摩爾斯大學 Dr. Kontovas 的研究報告<sup>[2]</sup>

指出，船舶排放的氣體主要是溫室氣體(Green House Gases, GHGs)包含二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、氧化亞氮 (N<sub>2</sub>O)、硫氧化物(SO<sub>x</sub>)等。船舶除了排放溫室氣體外，還會排放非溫室氣體(non-GHGs)包含 DPM、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、NMHC 等，對於人體健康、生態環境造成莫大的影響。2017 年香港環境保護署所提出的排放清單報告顯示<sup>[36]</sup>，2017 年香港水上運輸船舶排放的二氧化硫、氮氧化物及細懸浮微粒分別為 8,350 公噸、31,580 公噸及 1,270 公噸，占總空氣污染務排放量的 52%、37%及 41%。從數據顯示可以知道船舶對於港口都市而言，會造成十分嚴重的空氣污染危害，其船舶排放污染物之種類說明如下：

### 一、硫氧化物 (SO<sub>x</sub>)

船用燃油引擎、發電機燃燒燃油後產生之硫氧化物排放量，皆取決於燃油中的含硫量，雖然經過提煉後的燃油會使其中的含硫量降低，然大部分之船用重油仍有硫成份存在。硫氧化物排放比例不會因燃燒方式或溫度有所改變，且燃燒時會生成二氧化硫(SO<sub>2</sub>)，並於大氣中與氧氣緩緩化合成三氧化硫(SO<sub>3</sub>)，若被大氣中的水氣吸收則會造成酸雨的情形發生。二氧化硫(SO<sub>2</sub>)排放占 SO<sub>x</sub> 排放總量的 98%，其排放取決於使用的燃料種類。當燃料中含有硫，其百分佔比(3.5%、1.5%、0.5%、或其他)乘以燃料總消耗量(公噸)就可以估算 SO<sub>x</sub> 排放總量。例如，估計燃燒含硫量為 2.5%的船舶重油時，必須乘上相對應的排放係數，每噸燃料中含有相當於多少公斤二氧化硫。

硫氧化物不僅具有強烈的腐蝕性，若吸入過量的二氧化硫則會引起呼吸器官的疾病，包括：支氣管炎、氣喘、肺癌等慢性肺部疾病與呼吸道疾病。對於港口區域鄰近居民與相關產業工作人員而言，硫氧化物的排放將是形成一大危害人體健康的災害之一。

### 二、氮氧化物 (NO<sub>x</sub>)

氮氧化物主要有：一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO<sub>2</sub>)及四氧化氮(N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)等，其中對於環境有較大危害的包括一氧化氮(NO)與二氧化氮(NO<sub>2</sub>)，船用燃油引



引擎燃燒燃油後所排放的空氣污染物即含有氮氧化物之空氣污染物質。一般燃油之含氮量雖僅占約 0.02% 以下，然在含氧量濃度充足和高溫的環境下，長時間累積將會增加一氧化氮(NO)的產生量。氮氧化物排放量多寡主要是受船舶引擎負載變化影響，包括引擎汽缸內燃燒溫度、燃燒後氣體滯留時間與含氧量濃度而定。

在當氮氧化物到達一定含量時與碳氫化合物及太陽輻射產生光化學反應後所生成的二次污染物，也因此氮氧化物可說是形成光化學煙霧(Photochemical Smog)之主要條件。由於氮氧化物具有高度活性的特質，其一氧化氮(NO)會與人體中的血紅素迅速結合，影響血紅素輸送氧氣的功能，若吸入過高濃度則會使人體缺氧，進而影響中樞神經機能。二氧化氮(NO<sub>2</sub>)則是帶有刺激性的紅褐色氣體，容易對呼吸道造成刺激，包括呼吸急促、胸痛、咳嗽等症狀，若濃度過高時則會對人類呼吸系統黏液造成刺激引發氣喘、支氣管炎等致命風險。

### 三、二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)

二氧化碳(CO<sub>2</sub>)為主要的溫室氣體，其生成原因包括：含碳物質之燃燒、生物的呼吸代謝、有機物質腐爛或發酵及火山噴發岩漿等。由於人類社會使用化石燃料導致地球大氣的二氧化碳(CO<sub>2</sub>)濃度節節升高。根據美國斯克里普斯海洋學研究所最新研究資料指出<sup>[15]</sup>，2019 年地球大氣的二氧化碳(CO<sub>2</sub>)濃度已超過 400ppm，年增幅速率約為 2.5ppm~3ppm。根據港口營運與周邊環境空氣品質關係之研究資料顯示<sup>[8]</sup>，若以船用 AF380 燃油為例，船用燃油引擎燃燒一公噸燃油約會產生 3.17 公噸的二氧化碳(CO<sub>2</sub>)氣體，相較於硫氧化物(SO<sub>x</sub>)的 0.0571 公噸及氮氧化物(NO<sub>x</sub>)的 0.0857 公噸而言，其二氧化碳排量無疑高出數倍。

#### 四、懸浮粒子 (Particulates Matters, PM)

船用燃油引擎排放懸浮粒子空氣污染物，包括：元素炭、礦物灰、重金屬、各種未燃燒或部分燃燒之燃油及潤滑油等。船舶排放空氣污染物中部分的二氧化硫(SO<sub>2</sub>)及氮氧化物(NO<sub>x</sub>)會附著於懸浮微粒，由於沉澱速度緩慢，容易被大氣攜帶飄散至數百公里之外，造成大範圍的影響。美國阿拉斯加大學地球物理研究所的 Dr. Leelasakultum 等人提出一種使用程式模擬研究北極地區，引入低硫燃料後對 PM<sub>2.5</sub> 的影響<sup>[10]</sup>，模擬結果表明，在 10 月、11 月、12 月、1 月、2 月和 3 月，引入低硫燃料會使未達標區域每月平均濃度分別降低 4%、9%、8%、6%、5%和 7%。硫酸鹽和硝酸鹽變化的相對響應之間的關係的大小隨溫度而變化。模擬還表明，在城市中，大氣邊界層高度低，水凝物混合比低，短波向下輻射低和溫度低的日子，濃度會降低得更多。

除上述的船舶排放污染物種類外，依據 2016 年國際能源與環境工程雜誌的研究報告<sup>[5]</sup>指出，船舶排放到大氣的污染物是影響港口周圍環境空氣質量的關鍵因素。該研究提出了一種方法可用於評估海上交通對港口地區的空气品質影響。依據現行的法規，船舶在接近港口時會從燃燒重油（HFO）轉換到燃燒輕柴油（MGO），觀察其切換期間發動機產生的空氣污染物排放特徵及其擴散模式。選擇最頻繁的路線，分析船舶進出港口移動時的空氣污染排放物及排放量。另評估在港口附近的沿海地區污染物濃度。結果以圖形方式表示，並提供了海上交通對空氣品質的影響。這樣的資訊可被視為改善海上排放法規的有用工具。船舶交通對大氣中的污染物排放有很大貢獻，這個問題在沿海地區尤其是港口最為重要。透過在減度排放系統上安裝排放消除系統（如 SO<sub>x</sub> 和 PM 的洗滌塔，NO<sub>x</sub> 的 SCR）或在這些區域內燃燒“更清潔”的燃料來達到標準。該研究通過分析與燃料轉換有關的問題，分析了三種不同的燃料轉換程序，並針對每種轉換程序都考慮了船舶交通對港口地區的生態影響。並以義大利那不勒斯港口（Port of Naples）為案例，研究與計算商船進出港口的數量及所排放之 SO<sub>x</sub>，NO<sub>x</sub> 和 PM 產生量，調查它們在港灣內及附近沿岸的濃度。此分析引用的高斯擴散模式(ISCST3)之計算公式及其分析結果均是有效，可用於研究空氣品質狀況。因此，有效的分析方法和數據

收集可有利改善海上交通排放的法規，特別是沿海地區的排放法規。

又如 2020 年挪威氣象學院與芬蘭氣象研究所共同提出的全球船舶排放物對歐洲空氣污染影響之研究報告<sup>[9]</sup>指出，截至目前為止船舶排放物貢獻了龐大的空氣污染源，且整體管控成效不佳。排放物多集中在公海和靠近人口密集的海岸線與主要航行路線上。排放的空氣污染物包括 SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> 與懸浮粒子。SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> 都是形成細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)以及酸化的主要因素。此外，NO<sub>x</sub> 是地面臭氧的主要前驅物。該研究量化了國際航運對歐洲空氣污染水平和沉積的貢獻。該研究以全球和區域模型計算在 2015 年 SECA 法規實施較嚴格之後，以及在 2020 年全球硫排放上限生效之前，採用具有代表性的 2017 年氣象和排放數據進行船舶定位，與 2020 年的目標達成率相比，減少了 80% 的硫排放。研究基於不同海域干擾排放的模型敏感性研究：包括北海、波羅的海之北歐 SECA、地中海和黑海及靠近歐洲的大西洋，最後將所有全球船舶排放量加在一起。全球和區域尺度的計算均表明，對於 PM<sub>2.5</sub> 以及氧化氮和硫化物，當排放物靠近海岸時，其排放的影響要比公海大得多。在許多沿海國家，結果表示運輸佔可控制的 PM<sub>2.5</sub> 濃度以及氧化氮和硫氧化物的 10%。除少數例外，全球和區域計算的結果相似。結果表明，船舶排放對 PM<sub>2.5</sub> 的貢獻大大減少，由於自 2020 年起全球範圍內對海洋燃料中硫含量的限制為 0.5%，歐洲沿海地區的硫排放濃度和硫氧化物量預計將達到預期水平，對於與北海和波羅的海 SECA 相鄰的國家，硫排放量有顯著的減少。

### 第三節 船舶大數據分析應用

形成智慧化海洋運輸系統最基本要素即是將電子資通訊技術、系統、網路有效整合並應用於船舶、港埠、以及船岸之間支援系統，使使用者藉由系統整合的相關資訊進行彼此間的溝通管理。近年來人工智慧發展的目光聚焦在機器學習與深度學習技術，其中深度學習則是人工智慧發展中成長最快速的領域。有別於機器學習藉由大量的資料利用演算法進行預先處理、訓練建立預測模型，深度學習是以模擬人類神經網路運作的方式，由演算法的運算產生資料特徵值，而不需經由預先處理，且亦可利用增加預

測模型的層次架構提升預測精確度<sup>[26]</sup>。2012 年多倫多大學 Geoffrey Hinton 教授與其學生在 ILSVR (ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge) 圖像識別競賽中使用圖形處理器 (Graphics Processing Unit, GPU) 加上卷積神經網路 (Convolutional Neural Network, CNN)<sup>[4]</sup>，以 16% 的錯誤率一舉拿下競賽冠軍後，掀起了人工智慧的熱潮，更吸引大眾與媒體注意人工智慧發展的目光近年來深度學習是人工智慧發展中成長最快速的領域，深度學習模擬人類神經網路運作的方式，深度學習藉由大量的資料利用演算法進行訓練建立預測模型，未來有新資料可利用預測模型進行分析預測<sup>[26]</sup>。藉由 AIS 系統所提供的大量船舶航行動靜態資訊結合大數據分析技術的整合應用，將能夠最大化利用 AIS 所提供的資訊達成更加智慧化、多元化的創新技術服務。

目前有關海上船舶以大數據分析技術針對航行行為進行預測的相關國際研究，包括：日本防衛大學的 Dr. Wayan Mahardhika Wijaya 等人提出一種分析 Apache HBase 之 AIS 資料進行重度交通流量航道導航的船舶行為預測研究<sup>[22]</sup>，Apache HBase 是一種分散式儲存的資料庫，資通訊技術發展迅速，使資料量不僅愈加龐大，資料廣泛的增長亦會導致屬性複雜度的增加，而分散式檔案系統 (Hadoop Distributed File System, HDFS) 則能將以往僅使用單一伺服器資料庫進行資料儲存的方式擴增到數以千計的伺服器資料庫進行資料存取，以叢集系統 (Cluster System) 框架達到大量資料的有效管理。

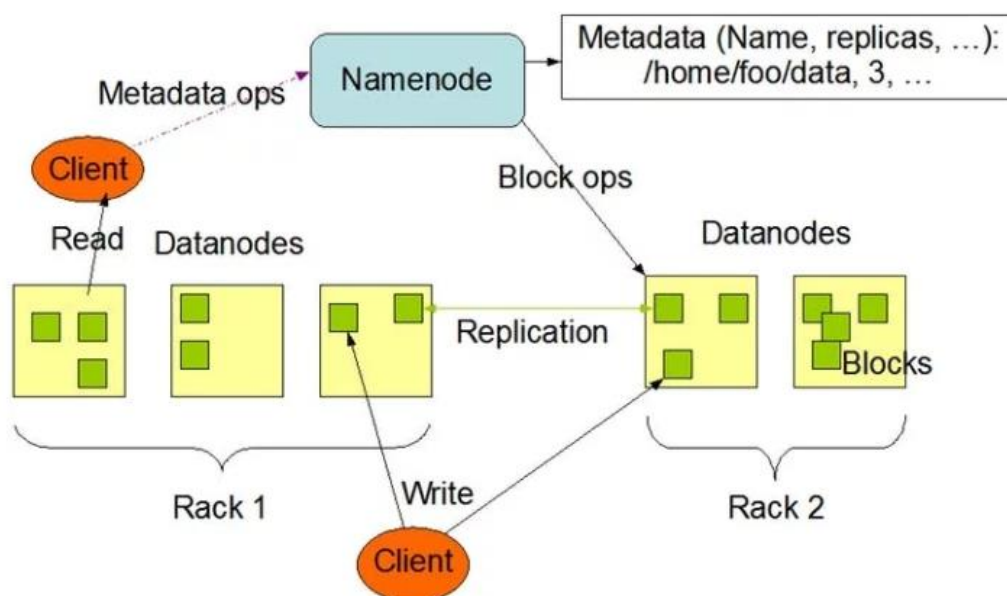


圖 2-3 HDFS 架構

該研究主要是透過應用 Apache HBase 的分散式儲存資料庫進行船舶大量 AIS 資料的儲存與分析，並依據 AIS 資料類別，如船舶類型、航速、航向、目的地等類別進行分類形成能夠有效檢索統計的量化資料，最後根據資料類別、屬性與運動特徵以演算法預測目標船舶的行為。從文獻中可以知道，該研究演算法設計的構思是針對目標船舶的屬性、特徵進行資料庫比對相似屬性與特徵的歷史航跡資訊做為船舶航行行為的預判。也因此，演算法邏輯較為簡化，僅需比對資料庫中與目標船舶屬性與特徵相近的船舶，並假設目標船舶亦會依循相似船舶的航跡從而做出預測。

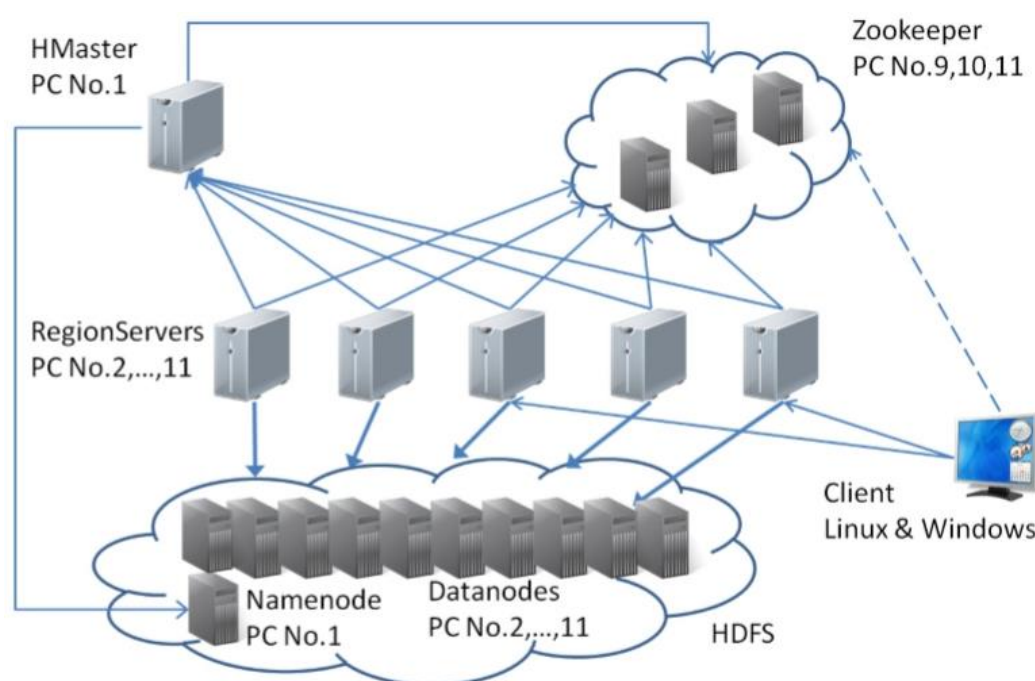


圖 2-4 分散式儲存資料庫結構

新加坡南洋理工大學的 Dr. Shangbo Mao 等人，針對海上船舶航行安全議題提出一種自動識別系統資料庫於海上軌跡預測及資料探勘之研究<sup>[14]</sup>，該研究指出目前國際在海洋科技研究領域上，並沒有一個標準化規範的 AIS 資料庫，海洋科技研究領域人員或相關從業人員進行研究數據蒐集時將會耗費大量時間與精力在 AIS 資料庫找尋可用資料。此外，從智慧化海洋運輸領域的研究發展趨勢來看，亦可得知有越來越多技術研究需要透過 AIS 資料庫進行船舶航行軌跡預測研究或其它相關應用。也因此具備一個可以用來比較不同方法、演算法效能的標準 AIS 資料庫尤為重要，該研究針對 AIS 資

料類別與屬性，並比較這些資料相對應關係，以及是否會在進行海上船舶航行軌跡預測導致差異性，從而建置一即用型(Ready-to-Use)的標準化 AIS 資料庫，以供船舶航行路徑學習、預測及資料探勘所用。

法國 IMT Atlantique 工程學院的 Dr. Duong Nguyen 等人則提出一種使用 AIS 資料串流進行海上監測的多工深度學習框架研究<sup>[3]</sup>，該研究主要是結合遞迴神經網路(Recurrent Neural Networks, RNNs)與潛在變數模式(Latent Variable Modeling)將 AIS 資料嵌入至新的代表空間，藉以解決 AIS 資料串流需處理之關鍵問題，如大量的 AIS 資料串流、不完整的數據及不同時間點採樣的數據等，並以此方式進行船舶航跡重建、異常檢測(Anomaly Detection)與船舶類型識別的模擬研究。圖 2-5 為研究應用於分析 AIS 資料串流的多工變分遞迴神經網路(Variational Recurrent Neural Network, VRNN)之架構，該研究系統模型的關鍵則是在於嵌入區塊，主要是將不完整或是不同時間點採樣的數據轉換為一致且定期的採樣機制，而子模型則是依據不同的時間週期負責處理船舶異常行為檢測、船舶類型的識別及船舶位置預測等。

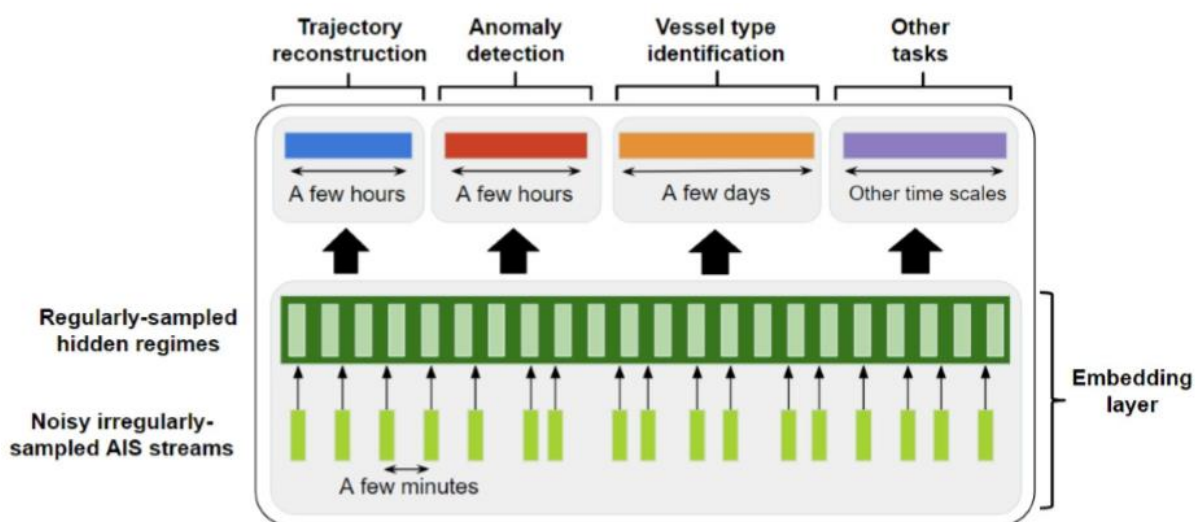


圖 2-5 VRNN 結構

#### 第四節 多軸無人載具

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)意即無駕駛人員之航空載具，於早期 UAV 擁有的自主性高、機動性強以及無人化等優點，被廣泛地運用於軍事用途中，如軍事情資的蒐集、國土領域的偵巡等軍用任務。依照載具機體結構的不同，可將常見的無人載具分為固定翼與多旋翼兩種<sup>[6][24]</sup>，多旋翼無人載具亦可稱為多軸無人載具，通常由發動機驅動的獨立水平螺旋槳翼產生推進力以達到升空和前進飛行的動作。正常飛行時，多軸無人載具的旋翼被前進時的相對氣流吹動而自旋，從而產生上升浮力使載具飛行，如直昇機和旋翼式的螺旋槳飛機等。該類型的無人飛行載具較不受地形環境限制，具有定點起降、空中懸停的能力，能夠使用於固定點位的空中監測。由於多軸無人載具的行進飛航、上升浮力都需要由自身的螺旋槳翼產生，屬於較為耗損能源的飛行方式，相較於固定翼機體結構的無人載具而言是屬於較短程航距內的飛行模式。

然而由於早期的微型控制器(Micro Controller Unit, MCU)運算能力不足、電子元件設備製程技術無法有效減輕重量，且降低雜訊與抑制干擾技術亦尚未成熟，其許多技術未被克服的狀況下，使無人飛行載具在民間一般企業廠商並不是一主流研發方向。隨著近幾年資、通訊控制技術發展迅速、日趨成熟，其積體電路、晶片製程之體積愈加微型化，且運算速度亦倍數上升，使 UAV 領域的發展在最近幾年得以蓬勃向上<sup>[6]</sup>。開發成本不似以往所費不貲，且全球衛星定位(Global Positioning System, GPS)模組、電子陀螺儀及微型控制器等電子設備體積不斷微型化，而運算能力越來越強大的今日，促使無人飛行載具不再侷限於軍事用途上，於坊間之可見度有如爆炸性成長般，舉凡自然環境的探勘、防/救災之監控及商用空中攝影等，皆可見其身影。

由於載具端本身若沒有結合其它技術，可提供服務大多僅限於探勘、監控等空中攝影應用。多年來國內、外有關 UAV 之相關論文研究大多係針對操作、飛行系統及機體結構等進行探討，使用 UAV 應用至各項研究之議題甚少。直至近年已有些許科學研究開始結合 UAV 應用於其研究領域，包括 UAV 搭載數位相機進行橋梁的檢測應用<sup>[33]</sup>，經由 UAV 實地空拍，以圖片做為橋梁劣化的評估依據，結合軟體演算法與圖像比例尺



做橋梁實際劣化面積之評估記錄。其研究即是運用 UAV 結合土木工程因應遭受颱風侵襲、豪雨造成河谷沖刷、橋墩掏空及浮木與土石撞擊橋梁、橋墩等結構進行安全評估的應用。又如文獻<sup>[30]</sup>之研究，即是應用 UAV 及 3D 雷射掃描儀進行古蹟建築物 3D 建模之研究。透過 UAV 於高空中對古蹟建築物進行垂直與環繞拍攝取得空拍影像，爾後則透過軟體演算法進行點雲解算。藉由 3D 雷射掃描並結合 UAV 垂直與環繞拍攝的方式，從而獲得精確度高且完整之古蹟建築物 3D 模型。而文獻<sup>[37]</sup>之研究，則是考量臺灣地區逾 2.8 萬多座橋梁之檢測方式皆是以目視檢測方式為主，因而提出一種以自動飛行之 UAV 搭載拍攝相機代替檢測人員至危險地域，或不易到達處進行橋梁檢測的方法，並比較其方法與傳統橋梁檢測之優劣點分析。

多軸無人載具主要架構可分為動力輸出系統、飛行控制系統及無線控制系統三部分，其中動力輸出系統包含電子變速器、無刷馬達與槳翼，由於多軸無人載具架構上可分為 4 軸、6 軸、8 軸等，而無刷馬達做動時每顆馬達轉速不盡相同，因此每顆無刷馬達須裝載一電子變速器用以控制無刷馬達轉速，而槳翼則依靠無刷馬達做動帶動多軸無人載具升空，載具動力輸出系統架構如圖 2-6 所示：

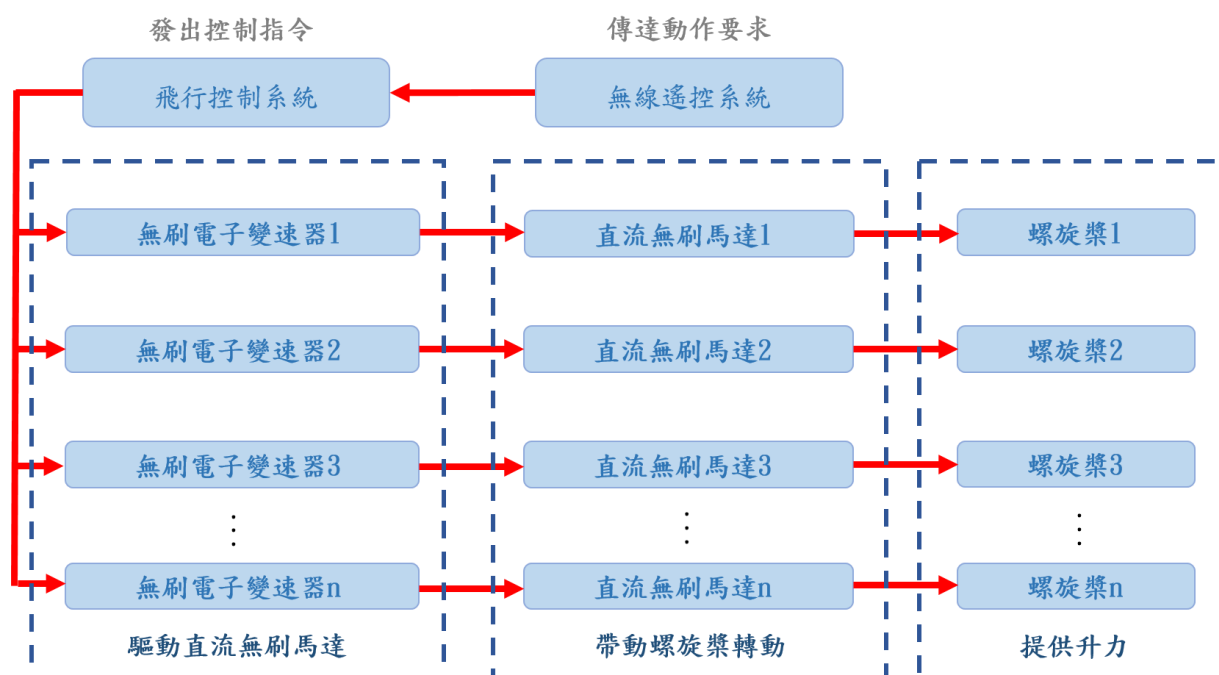


圖 2-6 載具動力輸出系統架構



飛行控制系統部分則包含飛行控制板與相關感測元件，如三軸加速度計、陀螺儀、GPS 定位模組等，特別是較為高階的飛行控制系統，可以整合多項模組元件與技術，包括：控制晶片、微型控制器、相關感測模組、影像識別技術及演算法等，其技術構成多軸無人載具應用的可行性。飛行控制板為多軸無人載具核心主要是控制載具的飛行姿態，當飛控板接收到遠端控制指令後，即讀取三軸加速度計與陀螺儀等感測元件數據，再經由糾正演算法如(Proportional Integrative Derivative, PID)進行載具飛行姿態的計算後，達到控制載具各直流無刷馬達轉速目的，而飛行姿態中的滾轉角與俯仰角是根據飛行控制板上的三軸加速計與三軸陀螺儀所做出的即時偵測，偏航角則是根據飛行控制板上的電子羅盤所偵測出的數值而呈現，此類的飛行姿態資訊不需要透過衛星通訊的應用，只需依據無人載具之飛行控制板上的電子模組即可有精確的飛行姿態訊息。較高階的飛行控制系統則包含全球定位系統(Global Positioning System, GPS)模組、電子羅盤、氣壓計及相關感測模組，用以增加載具的穩定度與安全性。

在真實場域環境飛行時，衛星定位的資料中的衛星數量與 GPS 量測誤差值有重要的相關性。GPS 訊號的經緯度、對地高度與對地相對速度都能夠提供飛行導航中重要的參考資訊，隨著飛行場域環境所能擷取到的衛星數量越多則可大幅提高可獲得量測參考之數據，特別是在本次研究多軸無人載具自主追蹤目標技術開發部分，需透過載具端飛行控制演算法判讀載具與海上目標船舶相對位置，使多軸無人載具在定位的精確度上得到更可靠的資訊。目前，較為高階的多軸無人載具之飛行控制系統還包含飛行導航功能，主要是提供載具在進行自動飛行時相對應的航點位置與真實飛行記錄資訊，在載具進行自動飛行時可比較所回傳的資訊與計畫中飛行路徑程序，藉此判定載具飛行路徑是否相符。而飛行控制系統亦能將載具電力相關資訊回傳至地面站，主要是反應多軸無人載具續航時間與航距，防止可能因續航能力的不足所產生的意外墜毀，目前在進行一般飛行任務時，多會針對載具最低電壓設定安全電量，使多軸無人載具在小於安全電量時會以返回原起飛地(Return To Launch, RTL)方式做為安全設定。

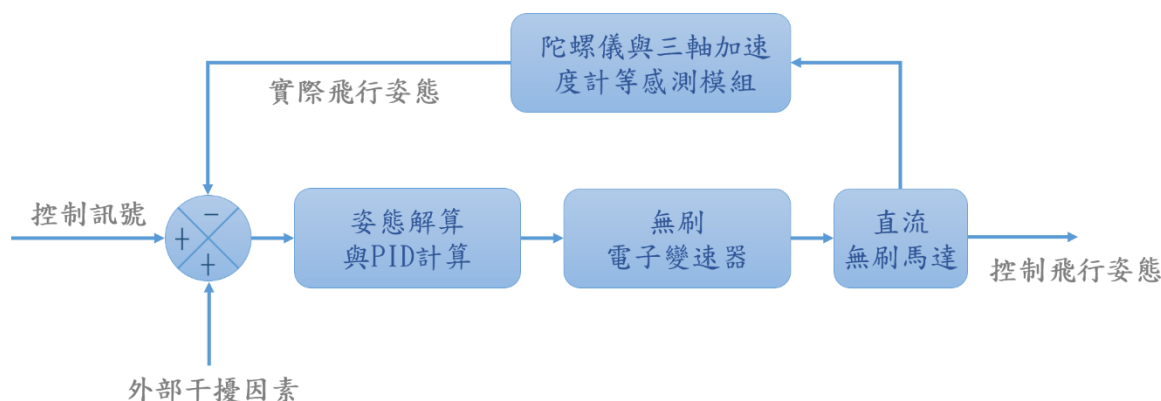


圖 2-7 飛行控制系統運作流程

而無線控制系統又可分為發射端控制器與載具端的收發模組兩部分，主要用於控制多軸無人載具飛行。由於電子資、通訊技術的成熟，使載具附屬功能亦越加多樣化，如飛行模式切換、自動飛航、影像拍攝與影像雲台模組控制等，因應功能多元化的發展，發射端控制器的通道數亦須增加予以對應載具各種功能的操作，早期控制器皆以調幅/調頻技術用以避免相近頻道造成干擾，頻段大多落在 27/40/72MHz，頻帶窄小，又須依據頻率分割出多通道，造成頻率範圍更加微小，須使用功率放大器解決相近頻道干擾問題。在無線傳輸技術發展日趨成熟的狀況下，現今控制器多使用 2.4GHz 頻段，其頻帶範圍寬闊、可利用展頻調變技術的優點，大幅解決特定或相近頻道干擾的問題。

如前所述，由於載具端本身若沒有結合其它技術，可提供服務多僅限於探勘、監控等空中攝影應用。而近幾年已有部分技術開發開始將多軸無人載具結合於港埠地區等情境場域進行相關的應用。其資訊綜整如表 2-9 所示：

表 2-9 國際商港之 UAV 應用與技術發展

使用場域	技術應用	效益
荷蘭鹿特丹港	2020 年荷蘭鹿特丹港結合港區空域應用規劃，包括為化學領域的客戶提供基於 UAV 的化學品檢查服務，貨櫃碼頭集裝箱區域巡檢及包裹遞送等服務。	鹿特丹港為一集合煉油、化工及造船一體的臨港工業帶，該應用案例主要是透過 UAV 搭載嗅探感測模組進行化學物質探測任務，藉以偵測生質燃料、油品、化學品、液態天然瓦斯 (LNG) 或其它化學物質是否發生外洩事件。

<p>比利時 安特衛普港</p>	<p>比利時安特衛普港為歐洲第二大港，2019 年共 14 家公民營企業因應港埠地區核新業務運作合力推動 SAFIR 專案，目的在於協助歐洲國家的管理機關，針對 UAV 商業化領域運用建立一套制度性的規範，其專案研究議題涵蓋港區巡察、包裹遞送、海上船舶航行安全檢視等。</p>	<p>歐洲國家結合公民營企業，合作推動名 Safe and Flexible Integration of Initial U-space Services in a Real Environment (SFIR)之專案，針對 UAV 在商業化領域中之運用，建立一套制度性的規範。其實現方式則是以 UAV 組成飛行網路，達到超視距無人機操控及 24 小時隨機飛行巡檢路徑設定之目標，提供監視飛行(貨櫃碼頭及海上漏油巡檢)、包裹運送、高壓電纜線路繪製、高壓電塔及移動式港口起重機結構巡檢。</p>
<p>歐洲 海事安全局</p>	<p>歐洲海事安全局與英國 Martek Marine 於 2017 年共同合作為歐洲港區環境提供一遠距離無人飛行載具操控系統(Remotely Piloted Aircraft Systems, RPAS)，主要是因應 IMO MEPC 防止船舶污染國際公約的防止船舶空氣污染規定。藉由該研發成果提供歐洲各成員國在海視環境監測資訊進行資訊共享。</p>	<p>RPAS 系統主要是將光學監測模組、紅外線熱顯像及空品感測模組掛載於無人飛行載具，進行海上環境識別、船舶排放空品檢測和油料外洩監控等應用。根據其技術報告指出，該系統有效遙控與覆蓋範圍達到 50 公里，並能持續提供地面工作站的操作人員進行即時影像監測。</p>
<p>香港</p>	<p>香港科技大學環境及可持續發展學部與香港環保署於 2019 年提出一種基於 UAV 的船舶空污排放感測技術，該技術主要是以 UAV 為平台，搭載能夠量測 SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> 及 PM 的感測模組，進行進港船舶燃油含硫量偵測與燃油切換之識別。</p>	<p>該研究將 UAV 飛行於廢氣排放源約 50 公尺範圍外進行污染排放偵測，系統則透過雲端技術把傳送的即時數據進行電腦分析，從而準確運算出在 0.05%-5.0% 範圍內的船舶燃料含硫量。其技術發表指出該研究已初步完成實驗室環境及模擬飛行測試，後續將持續進行實海測試與數據採集效能評估。</p>
<p>中國 上海港</p>	<p>中國大陸上海海事大學與海事局在 2019 年提出一種基於 UAV 的船舶廢氣測量系統，透過安裝於 UAV 上的 SO<sub>2</sub> 及 CO<sub>2</sub> 感測模組於上海港計算船舶煙流中 SO<sub>2</sub>/NO<sub>2</sub> 比例，以確定船舶是否切換低硫燃料。同時透過實地取樣，送至實驗室比對，予以確認該系統之 FSC 稽查準確</p>	<p>該研究在船舶煙窗口約 5 公尺處的煙流透過現場及機載測量兩種方式進行船舶煙流中 SO<sub>2</sub>/NO<sub>2</sub> 比例計算。為了驗證機載測量的準確性，除於地面架設熱顯像設備判別偵測有效性外，並收集了燃料樣品送至實驗室進行化學成分分析，對這兩種測量方法進行比較。經過對比實驗結果顯示，FSC 估計值的偏差</p>

	性。	一般小於 0.03% (m/m)。因此無人機測量可用於 ECAs 符合 FSC 的高精度監測。
--	----	---

資料來源：本研究彙整

### 第三章 便攜式多目標圖像平台/操作介面建置

此次研究在系統平台的建置是使用開源軟體進行控制操作與資訊顯示之 GUI 介面設計，其系統平台之介面功能與顯示資訊包括：AIS 資料接收與解碼功能、無人載具飛行指令操作功能、地理圖資資訊、AIS 船舶座標預測資訊、載具飛行狀態資訊與空中拍攝影像等。

#### 第一節 系統架構規劃與介面設計

在一般狀況下的 UAV 操作模式多是透過軟體手動進行飛行任務規劃，當任務需要監控大面積區域或多目標點位監測時，其操作模式會受到極大的限制。有鑑於此，此次在架構規劃研究採用連網模式做為資訊顯示與操作介面的控制平台，如此即可使載具的操作控制、飛行資訊、AIS 資料庫資訊及目標船舶相關數據皆能直接的顯示於系統介面。而 AIS 船舶的相關資訊，主要是經接收匯入於系統後台進行欄位解析及資料解碼等處理，再透過資料排程演算剔除不符格式的 AIS 資料後更新至系統平台資料庫，並依據其 AIS 資料以船舶圖像物件方式顯示於圖層視窗進行顯示。平台介面的開發採用 Python 網頁框架方式進行，主要是其開放原始碼的 Web 應用框架能有利於系統後續進行功能優化或擴展時較不受到限制，且該框架使用 Model Template View, MTV 的軟體設計模式，將軟體切分為三個部分，如圖 3-1 所示。

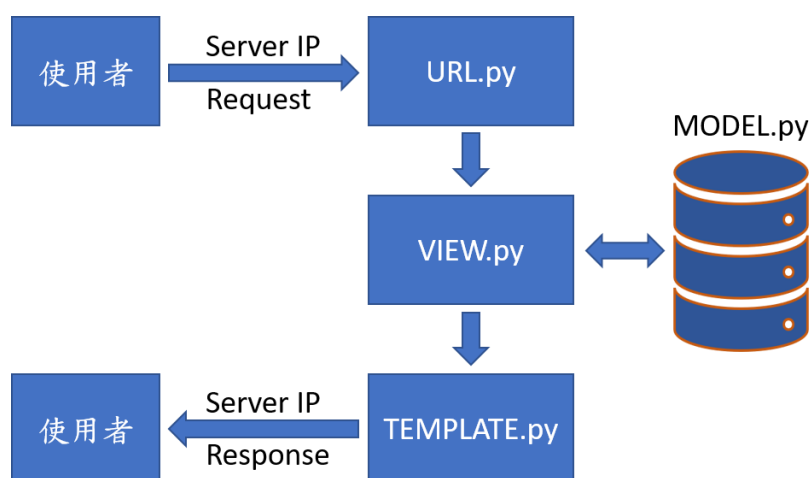


圖 3-1 MTV 框架設計模式

MTV 架構以 Template 模板(HTML 檔)輸入或輸出資料，在<views.py>檔中定義函式，並用該函式透過 Model 存取資料庫，同時將資料以 Template 模板顯示。其分層任務如表 3-1 所示：

表 3-1 MTV 分層任務

架 構	任 務	說 明
Model	資料庫存取	程式邏輯與資料庫存取相關程式
Template	輸入表單或顯示資料	輸入及輸出資訊的呈現
View	控制與整合	判斷該呼叫的 Model 存取資料庫

應用 Python 程式語言進行系統平台與介面開發的優勢，主要是因其能夠提供一種利於彈性開發設計的視窗控制項集合，每一個控制項都有對應的工具巨集且類別庫和 API 非常詳細，即便程式執行的運算速度較為緩慢，亦不至於造成系統效能瓶頸。這對此次多目標圖像平台/操作介面建置開發尤為重要，因為系統平台運行須將完成前置處理的 AIS 船舶資訊從資料庫中擷取出來，並在解析目標船舶之預測經緯度座標資訊後，經平台進行資料封包格式轉換，使其成為符合多軸無人載具所能接收的資料封包格式，傳輸至載具端的飛行控制系統。而 PyQt 可使邏輯程式執行盡量以不造成系統效能負擔的方式則可有效降低系統與平台延時的可能性，且能夠提供完整的 Qt 應用程式介面函數，其物件導向設計架構且使用訊號(Signal)及槽(Slot)的機制，在系統應用程式越來越大時能夠具備更加明顯的優勢，主要是因為有別於其它圖形化介面程式庫使用回呼的機制，PyQt 使用訊號及槽的機制在視窗控制項之間傳遞事件和訊息，將使整體開發上更為安全與簡潔。

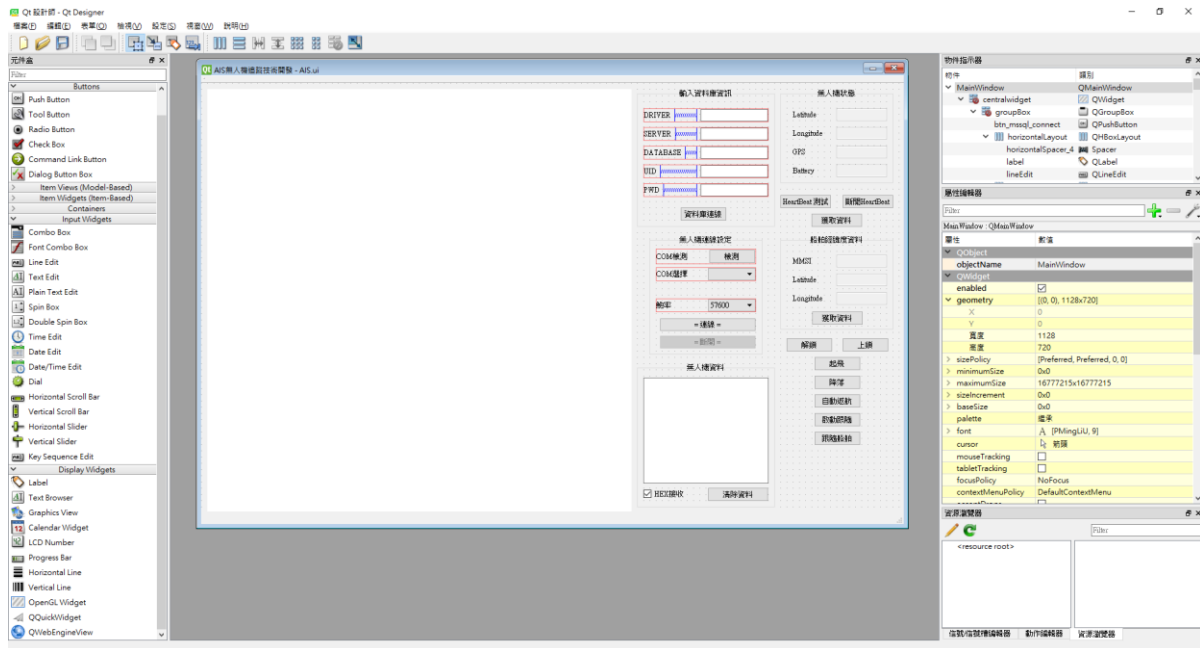


圖 3-2 多目標圖像平台/操作介面開發環境

在顯示及控制介面部分可概分為兩方面。首先為圖像顯示介面，主要是將 AIS 船舶資料以及載具完成連線後的當前位置以圖像物件方式顯示於圖層視窗。而控制介面的顯示資訊，包括呈現資料庫連線相關資訊、載具連線數據、載具飛行狀態、目標船舶經緯度資訊。載具的控制指令功能則包括：安全鎖機制、起飛、自動返航及追蹤船舶等指令。



圖 3-3 系統平台顯示及控制介面



系統整體操作流程如圖 3-4 所示，首先在系統平台端需進行 AIS 資料庫的連線設定，使完成數據整理的 AIS 資訊得以匯入平台的圖像介面，其圖像介面所顯示之 AIS 船舶資訊則以 5 秒為一周期不斷匯入進行更新。接著則開啟無人載具的系統電源，載具端在自動完成初始化相關設定後，即把連線狀態與載具飛行狀態等相關數據傳輸至系統平台，操作人員則可於系統平台的資訊顯示與控制介面知悉載具連線數據、經緯度座標、衛星連線狀態和載具電量等資訊。在完成相關連線設定後即解鎖載具飛控指令並進行起飛操作，使用者透過圖像介面選取欲追蹤之目標船舶，所選取的 AIS 目標船舶數據經船舶航行位置預測模型運算後推估其下一航行經緯度座標。在目標船舶的預測座標出來後，平台即把目標船舶預測經緯度座標資訊轉換為 MAVLink 傳輸協定的封包格式傳輸至無人載具，使無人載具得以判讀船舶預測位置資訊進行飛行追蹤、變更追蹤目標與自動返航等飛行任務。

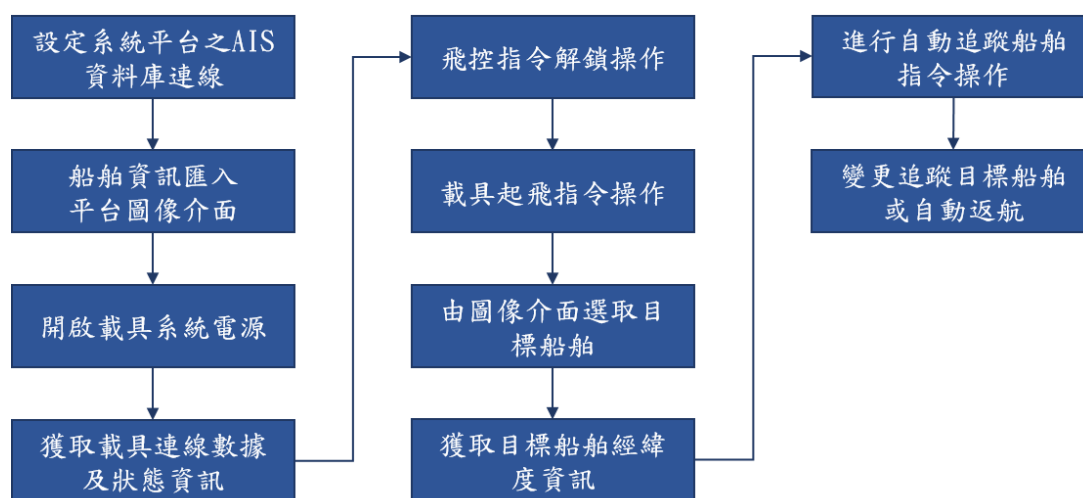


圖 3-4 系統平台操作流程

在載具端，研究採用 PIXHAWK 1 做為飛行控制平台，由於 PIXHAWK 1 本身並不搭載任何網路傳輸設備，因此在載具與圖像平台聯繫的方式，研究以 Raspberry Pi 做為數據傳輸模組，使其達成彼此間的通訊，為了將 PIXHAWK 1 內部的參數上傳至網路，以及從網路端接收處理控制信號與 Raspberry Pi 進行搭配，研究使用 Raspberry Pi 本身的 Serial Port 跟 PIXHAWK 1 進行串接，將讀取到的相關參數透過網路上傳至資料庫，載具與系統平台之傳輸控制框架和流程如圖 3-5、圖 3-6 所示：



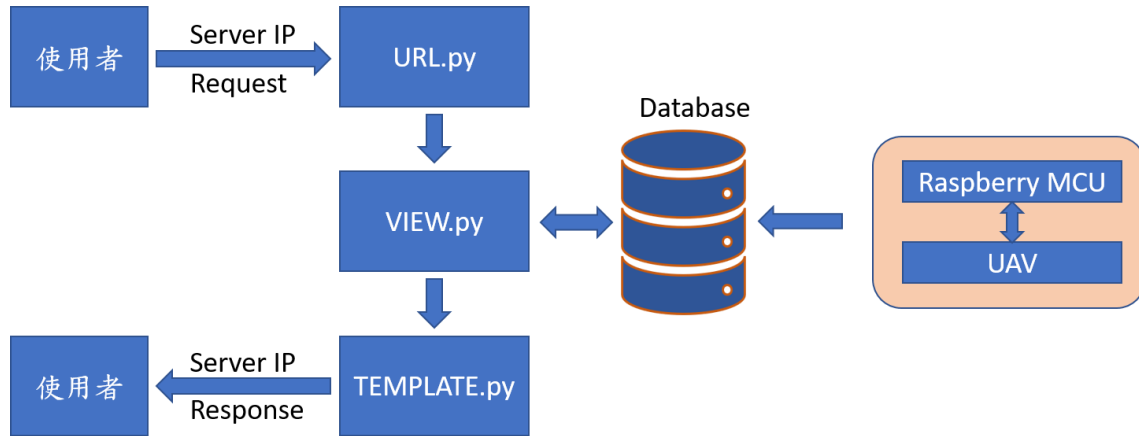


圖 3-5 載具與系統平台傳輸控制框架

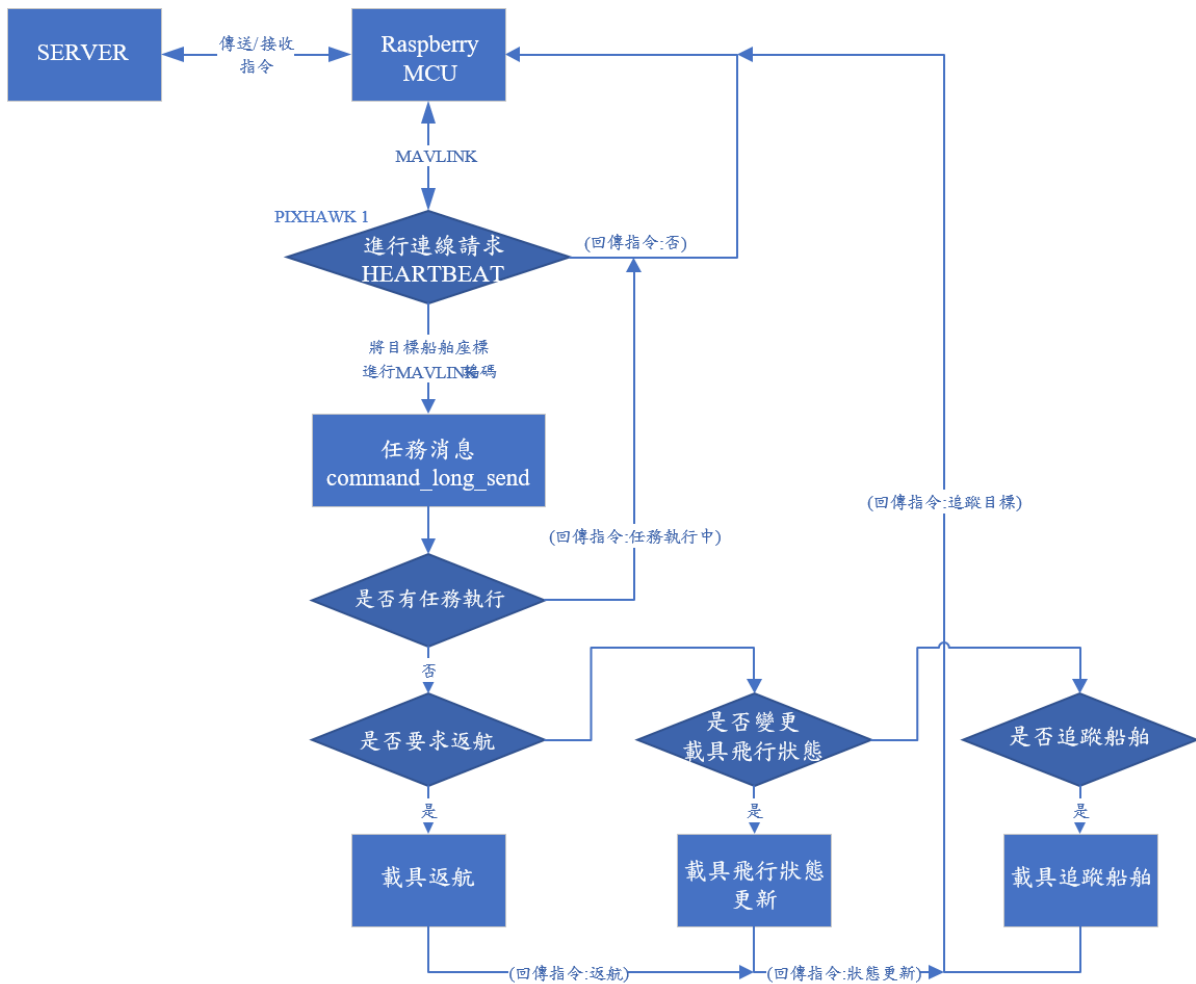


圖 3-6 載具與系統平台傳輸控制流程

Raspberry Pi 與 PIXHAWK 1 之間透過 Serial Port 串接獲參數，並以 Raspberry Pi 做為發送及接收來自伺服器端資訊的媒介。在與 PIXHAWK 1 串接時，讀取 PIXHAWK 1 內部的相關參數，如經緯度、GPS 數量、電池電量及 UAV 三軸之參數等。由於 Raspberry Pi 內可編寫 Python 程式碼，因此跟 PIXHAWK 1 間的連線則使用 MAVLink 進行溝通。標準的 MAVLink 封包格式是基於 GNU 寬鬆公共授權條款(GNU Lesser General Public License, LGPL)的開源協議。瞭解 MAVLink 資料封包欄位定義後，可以知道於 AIS 船舶多目標圖像平台/操作介面與載具端之間進行數據傳輸時，需要特別注意 MSG 與 PAYLOAD 欄位，前者為資料封包訊息內容(PAYLOAD)的編號，後者則是存放了資料封包欲傳送之訊息內容。封包資料格式如圖 3-7 所示：

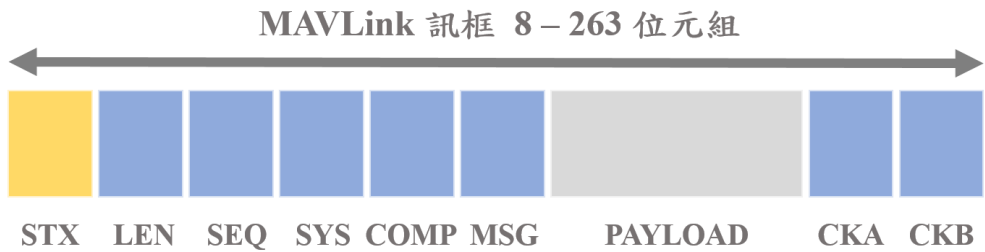


圖 3-7 MAVLink 封包資料格式

表 3-2 MAVLink 封包欄位定義

代 號	位 元 索 引	內 容	數 值	說 明
STX	0	封包起始記號	0xFE	
LEN	1	負載長度	0-255	表示負載資料長度
SEQ	2	封包序列	0-255	檢測封包完整度
SYS	3	系統 ID	1-255	
COMP	4	組件 ID	0-255	
MSG	5	訊息 ID	0-255	訊息種類
PAYLOAD	6 至 (n+6)	訊息內容	0-255(Byte)	欲傳送之訊息
CKA, CKB	(n+7) 至 (n+8)	校驗資訊		

STX：封包的起始標記，在 MAVLink 接收端進行封包解碼時所用。

LEN：負載長度，可於 MAVLink 接收端與實際所接收到的訊息內容 (PAYLOAD)長度進行比較，予以驗證訊息內容的長度是否正確。

SEQ：資料封包的序列編號，主要用於 MAVLink 接收端計算封包訊息接收效率所用。

SYS：資料封包的系統編號，於 MAVLink 接收端確認封包訊息由何者設備所發送。

COMP：設備組件編號，於 MAVLink 接收端確認該封包訊息由哪個設備的組件發送。

MSG：資料封包訊息內容(PAYLOAD)的編號，MAVLink 接收端依據此編號確認訊息內容種類，並依據編號選擇相對應的方式進行資料封包的處理。

CKA,CKB：資料封包的校驗資訊，以循環冗餘校驗方式進行計算，取得一 16 位元的校驗碼。

無人載具在接收到 MAVLink 資料封包後，隨即解析資料封包獲得海上目標船舶預測座標資訊。

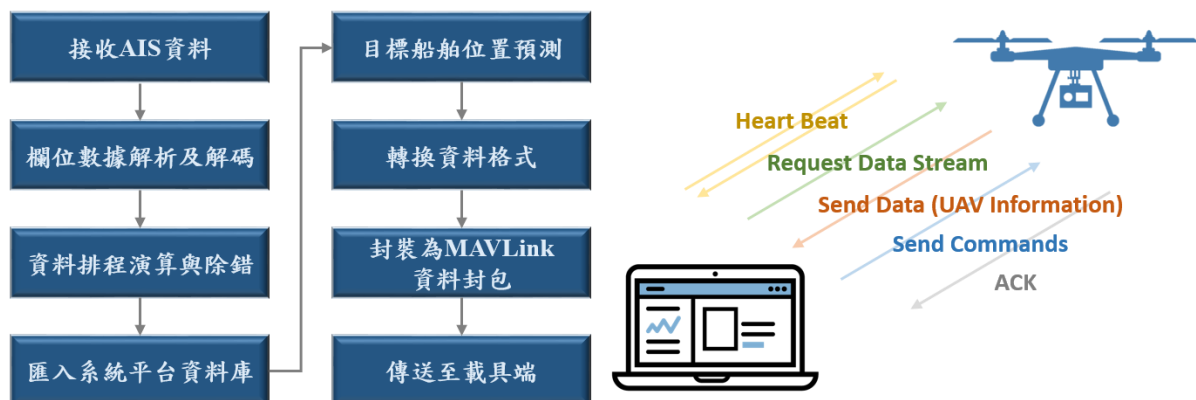


圖 3-8 資料格式轉換與 MAVLink 執行流程

圖 3-8 為 AIS 資料格式轉換與 MAVLink 執行流程，當 MAVLink 傳輸協定欲建立連結時，地面站的多目標圖像平台/操作介面將先行傳送 Heart Beat 訊框的偵測封包確認所對應的載具端是否存活，如在指定時間內未收到回覆即視為連結失敗，反之則視為連結成功，平台則是在完成 AIS 資料封包格式轉換，將其封裝為 MAVLink 資料封包並傳送至載具端，載具端解析資料封包後執行指令並回傳確認訊息(Acknowledgment)之封包至平台，載具端確認與平台建立連結後即發送載具狀態資訊，平台接收載具端狀態資訊，並於系統平台介面呈現載具相關資訊並等待飛行指令。

## 第二節 系統解碼與追蹤功能實測

此次研究之系統實測場域包括高雄港第一港口的第一錨區、高雄港第二港口進出港航道等，場域俯瞰如圖 3-9 所示，依據交通部民航局無人機飛行空域管理公告，所屬範圍為限航區域環境時，飛行高度需低於 200 呎內，依據其飛行測試結果評估其高度限制範圍內可滿足運用無人載具進行船舶追蹤與空污排放監測技術執行之需求。

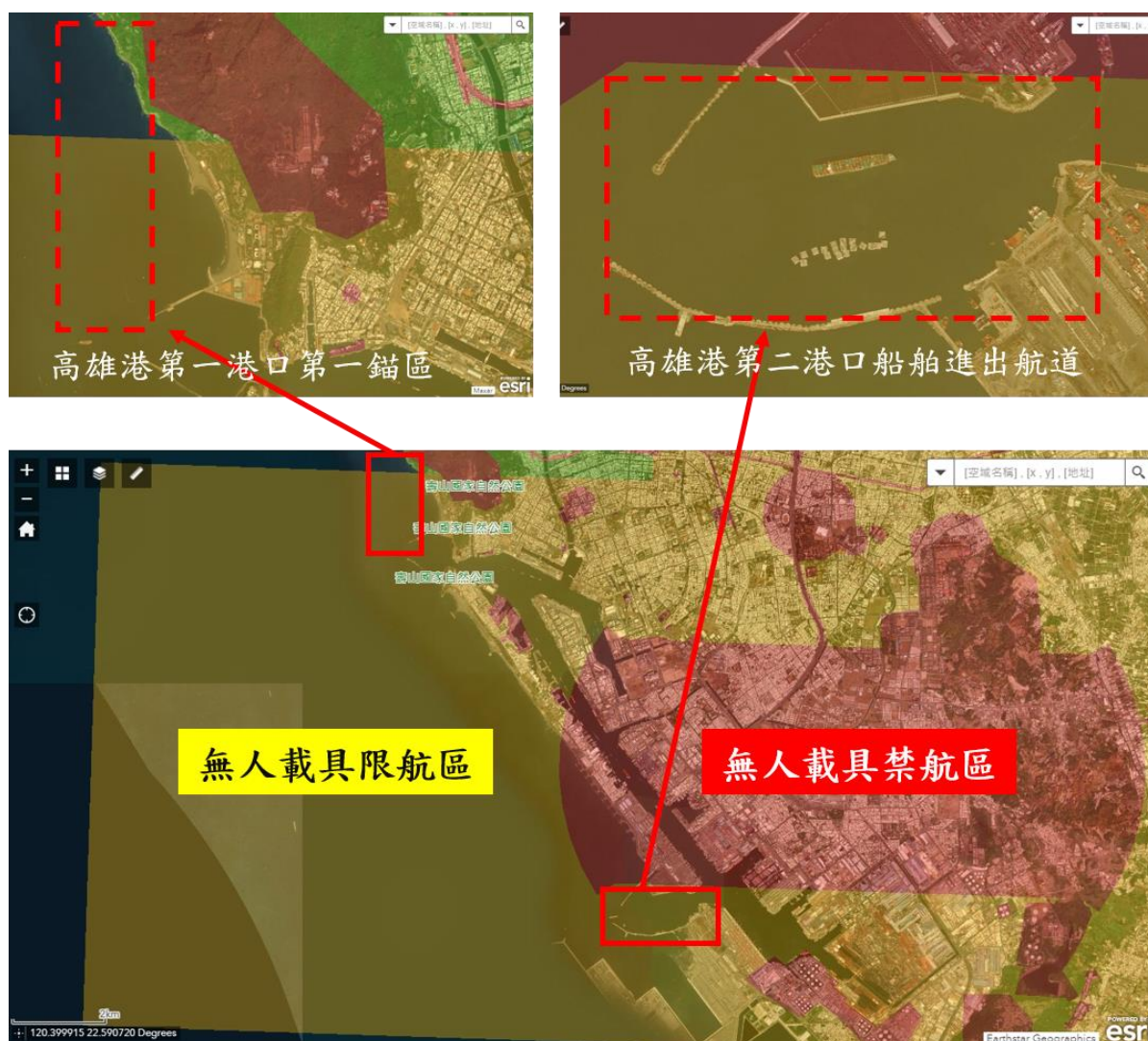


圖 3-9 系統實測場域範圍

如圖 3-10 及圖 3-11 所示，此次於高雄港進行飛行測試過程，研究藉由架設 AIS 接收站獲取即時性的 AIS 船舶資料，避免 AIS 資料須經多個節點路徑傳輸所造成的延時問題。在獲取即時性 AIS 船舶資料後，於測試系統平台主要則是進行 AIS 資料欄位解碼與異常數據檢測之相關功能。圖 3-12 為載具飛行前置作業準備時，針對現場環境進



行頻率量測分析，評估港區環境、VTC 塔台與船舶航儀設備是否造成訊號干擾影響，藉以針對受干擾頻帶進行傳輸頻率的修正。



圖 3-10 高雄港第一港口第一錨區飛行測試



圖 3-11 高雄港第二港口船舶進出港航道飛行測試



圖 3-12 現場環境頻率量測

目前載具遙控操作、資料傳輸頻率，包括 915MHz、2.4GHz、5.8GHz 皆符合國家通訊傳播委員會公告許可之收發使用頻帶。在前置的現場環境勘查作業中，研究藉由手持式頻譜分析儀等設備進行高雄港區環境頻率量測，主要是為評估現場環境，如 VTC 塔台、船舶航行設備儀器與周遭環境之頻率，是否造成載具飛行時之訊號傳輸或操作的影響，予以避免造成港區船舶與轄管單位航儀設備之影響。如圖 3-13 所示，由於載具使用的 915MHz 頻帶與現場環境訊號過近，在操作控制或資料傳輸過程可能產生干擾情況，因此完成現場環境訊號干擾量測後，即進行 915MHz 頻帶的載具傳輸頻率調整。

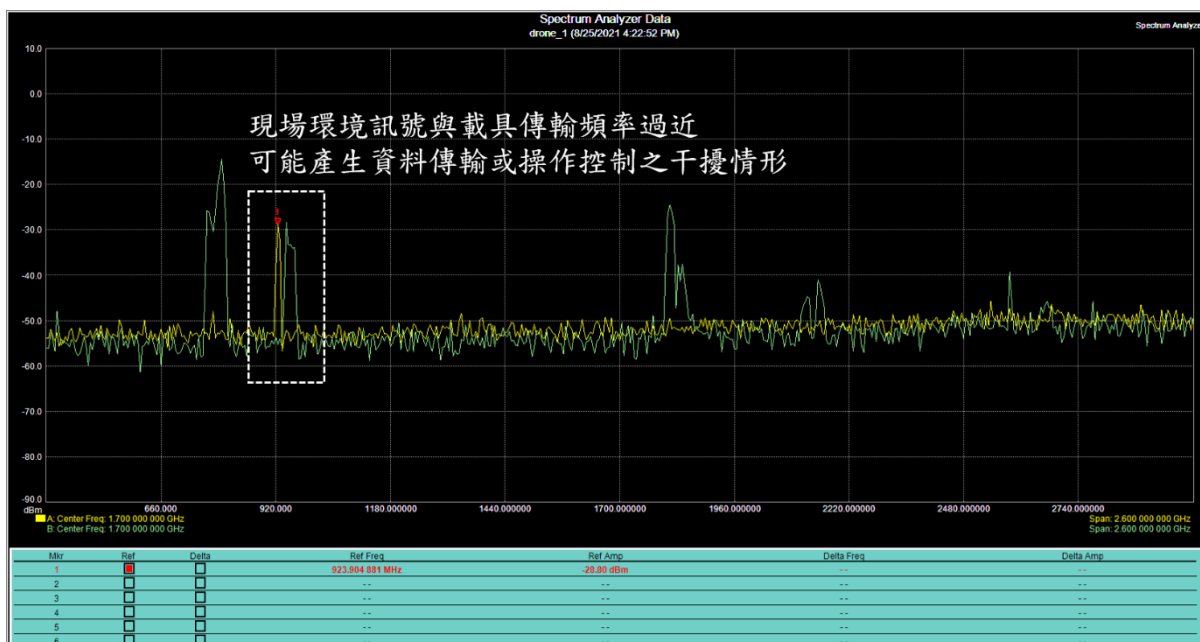


圖 3-13 現場環境訊號干擾

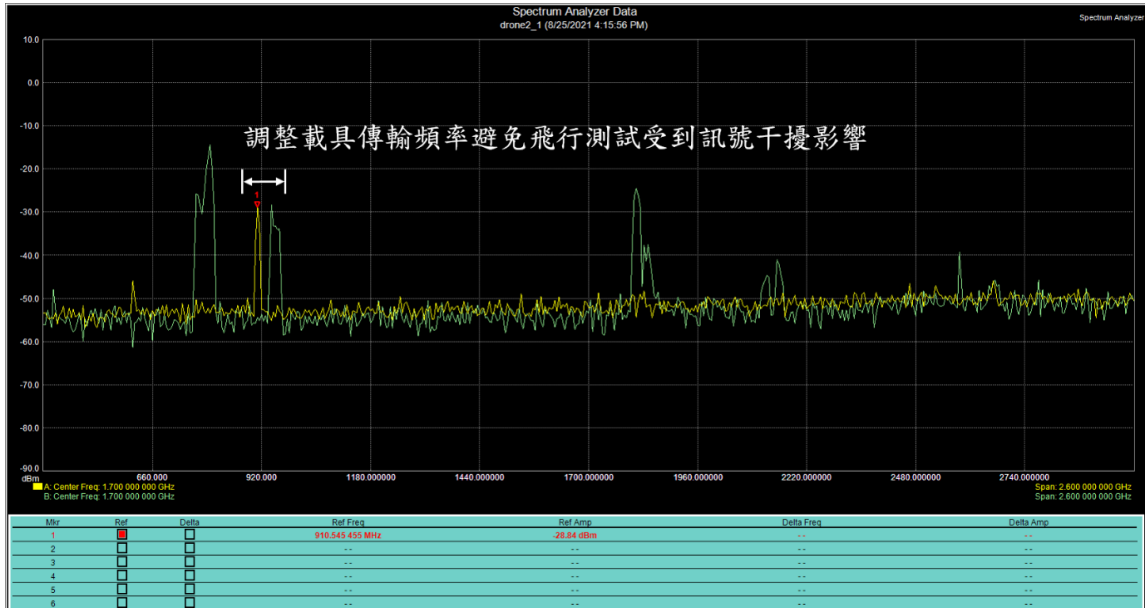


圖 3-14 載具傳輸頻率修正

此次系統實測過程，研究藉由系統平台接收現場架設 AIS 接收站之船舶 AIS 資料。如此則可避免系統圖像平台顯示的 AIS 船舶資訊須要介接相關單位之 AIS 資料庫，再經由多個節點才能將資訊匯入至此次所建置的系統平台資料庫。除了可以改善 AIS 資料延遲性問題，亦能夠降低 AIS 資料數據量過大(可有效針對現場環境船舶 AIS 資訊進行接收與處理)造成系統負擔之情形，完成即時性的數據欄位解析、解碼作業。其處理過程與結果如圖 3-15 與圖 3-16 所示：



圖 3-15 系統平台之 AIS 船舶資料解碼處理



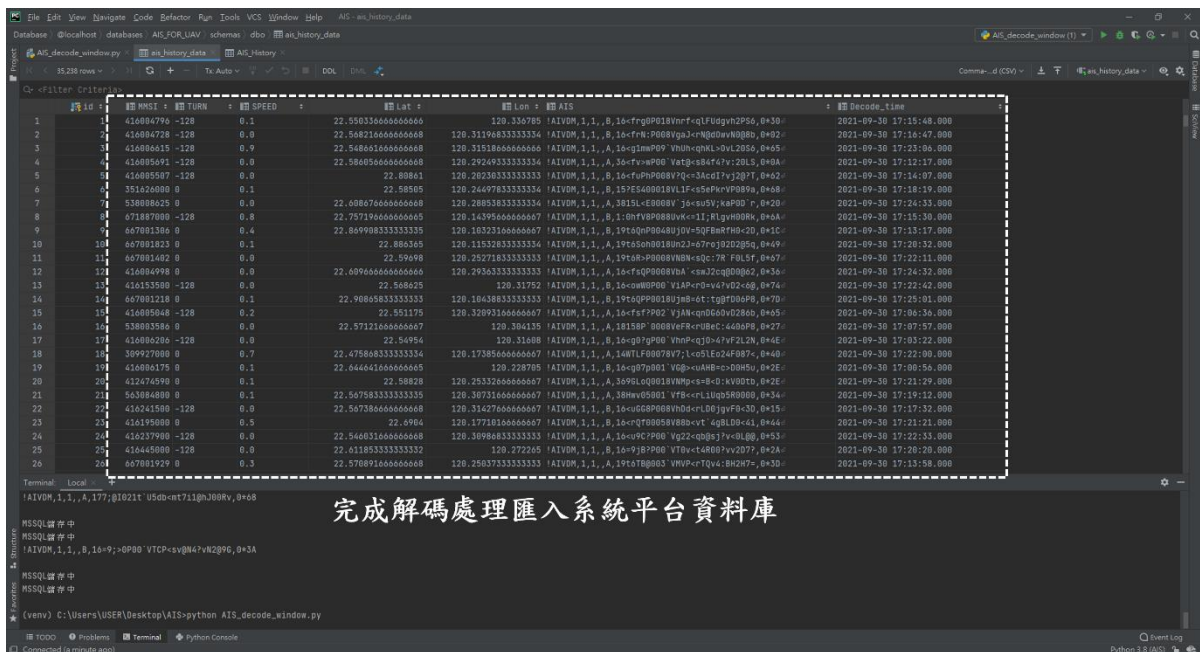
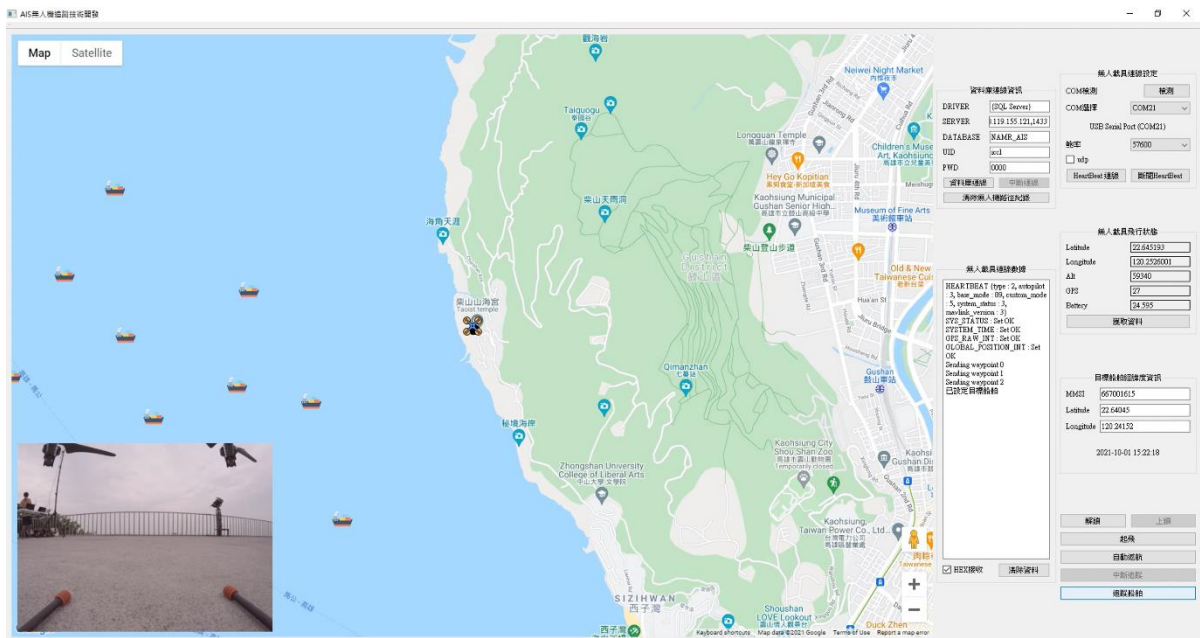


圖 3-16 系統平台之 AIS 資料庫

從圖 3-17 可以看到系統平台的圖像介面能夠顯示出當前範圍內之 AIS 船舶資訊，而載具與平台完成連線設定後亦可顯示出當前位置，操作人員可直接透過介面的顯示資訊選取目標船舶，並透過控制介面進行起飛、追蹤目標船舶與自動返航等指令。





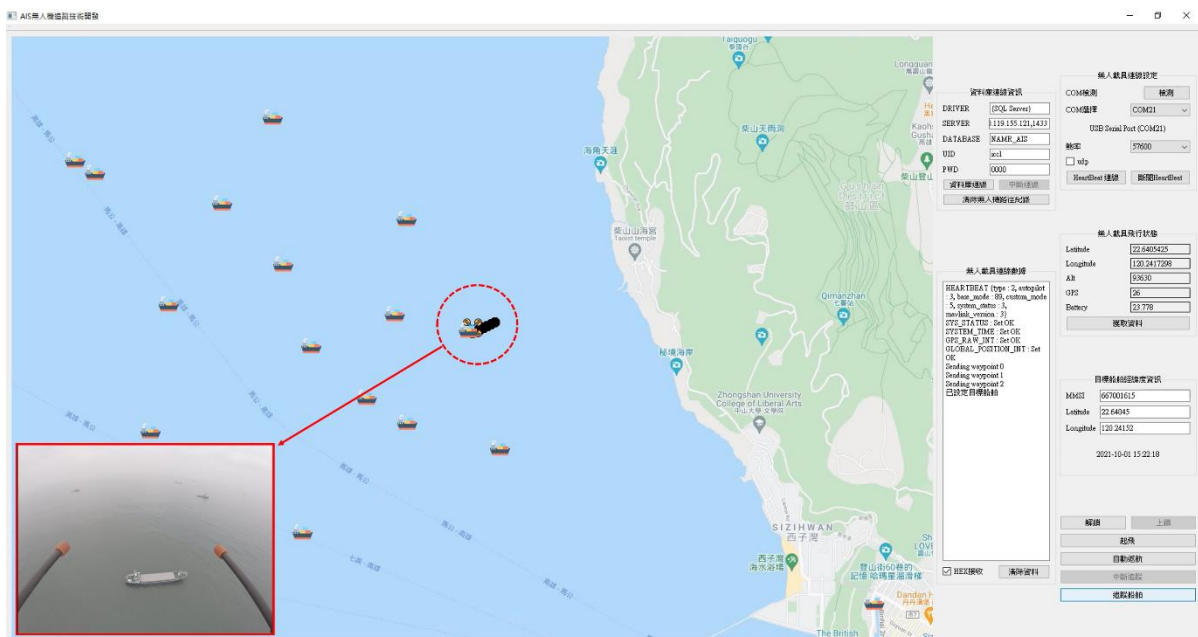


圖 3-18 載具追蹤測試

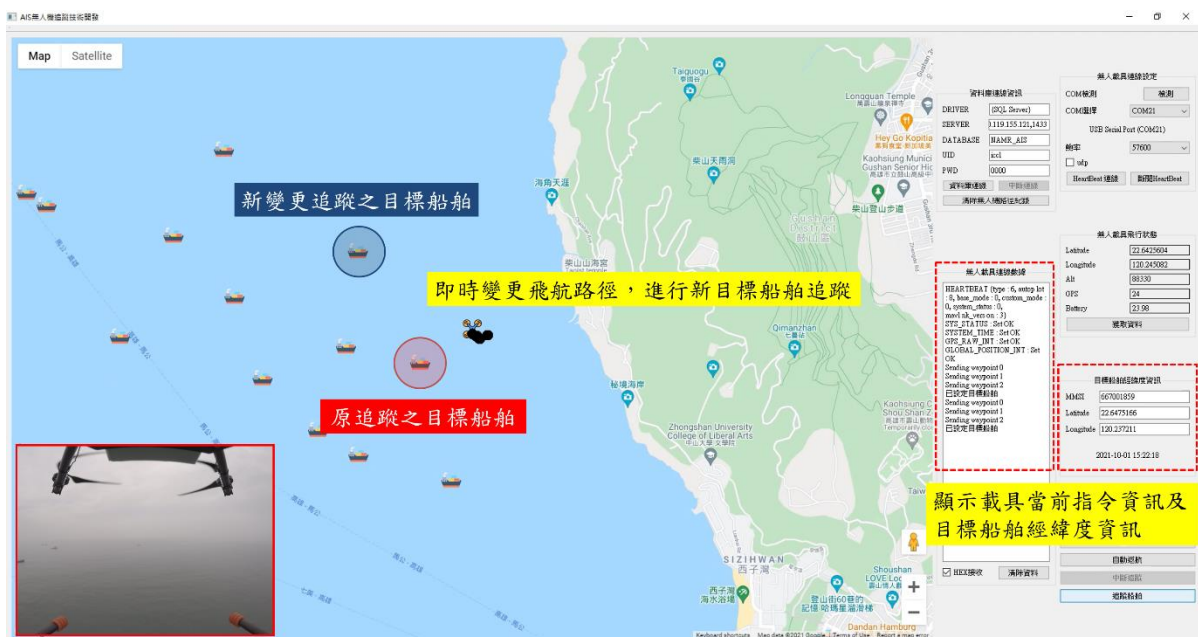


圖 3-19 即時變更追蹤目標船舶

## 第四章 無人載具之多船舶 AIS 目標自主追蹤軟體開發

在此章節研究將說明從船舶 AIS 資料接收後，進行解碼、資料排程演算除錯的施作流程，包括重複性 AIS 資料、不符合船舶 MMSI 格式、船舶航速、航向、真航向及船舶當前位置異常等判斷識別。在完成初步的 AIS 資料探勘與處理後，得以確保後續更新至系統平台資料庫的 AIS 資料品質一致性和完整度。接著，則透過學習演算法與神經網路架構的方式建立船舶航行預測模型，針對目標船舶動態資料及 AIS 資料進行數據分析，預測目標船舶航行位置，其演算法完成船舶航行位置預測的計算結果後，經資料編解碼處理並進行平台資料封包的格式轉換，透過無線傳輸將目標船舶座標傳輸至多軸無人載具，使載具得以自主飛行至預測點進行船舶追蹤。最後，研究則透過技術開發成果與飛行測試結果，規劃一載具可行之空污監測採樣裝置，以利實現船舶進出港之空污排放調查目標。

### 第一節 船舶 AIS 資料探勘與預處理

依據國際電工委員會(International Electrotechnical Commission, IEC) 所制定的 IEC61162-1 標準中，其標準可支援二進制資料封包傳輸格式，包括了資料的編碼、解碼和結構，就 AIS 資料格式而言，二進位資料的格式可藉由國際電信聯盟之 ITU-R M.1371 系統規範中得知，前述研究已於成果報告初稿第二章第一節說明目前已定義的 AIS 訊息資料類型(Message Type)共有 27 種，其各類型的 AIS 封包長度如表 2-4 所示，分別適用於 Class A 和 Class B 中數據傳輸使用，而每種資料類型所定義的欄位格式和存放資訊內容又有所差異，以 Message 1 至 Message 3 為例，如表 4-1 所示該資料類型為 Class B 進行船舶位置訊息回報所適用。

表 4-1 CLASS B AIS POSITION REPORT (MESSAGES 1, 2, AND 3)

Parameter	Bits	Description
Message ID	6	Identifier for this message 1, 2 or 3

Repeatindicator	2	Used by the repeater to indicate how many times a message has been repeated. See Section 4.6.1, Annex 2; 0-3; 0 = default; 3 = do not repeat any more
User ID	30	MMSI number
Navigational status	4	0 = under way using engine, 1 = at anchor, 2 = not under command, 3 = restricted maneuverability, 4 = constrained by her draught, 5 = moored, 6 = aground, 7 = engaged in fishing, 8 = under way sailing, 9 = reserved for future amendment of navigational status for ships carrying DG, HS, or MP, or IMO hazard or pollutant category C, high speed craft (HSC), 10 = reserved for future amendment of navigational status for ships carrying dangerous goods (DG), harmful substances (HS) or marine pollutants (MP), or IMO hazard or pollutant category A, wing in ground (WIG); 11 = power-driven vessel towing astern (regional use); 12 = power-driven vessel pushing ahead or towing alongside (regional use); 13 = reserved for future use, 14 = AIS-SART (active), MOB-AIS, EPIRB-AIS 15 = undefined = default (also used by AIS-SART, MOB-AIS and EPIRB-AIS under test)
Rate of turn ROT <sub>AIS</sub>	8	0 to +126 = turning right at up to 708 deg per min or higher 0 to -126 = turning left at up to 708 deg per min or higher Values between 0 and 708 deg per min coded by $ROT_{AIS} = 4.733 \text{ SQRT}(ROT_{\text{sensor}})$ degrees per min where $ROT_{\text{sensor}}$ is the Rate of Turn as input by an external Rate of Turn Indicator (TI). $ROT_{AIS}$ is rounded to the nearest integer value. +127 = turning right at more than 5 deg per 30 s (No TI available) -127 = turning left at more than 5 deg per 30 s (No TI available) -128 (80 hex) indicates no turn information available (default). ROT data should not be derived from COG information.
SOG	10	Speed over ground in 1/10 knot steps (0-102.2 knots) 1 023 = not available, 1 022 = 102.2 knots or higher
Position accuracy	1	The position accuracy (PA) flag should be determined in accordance with the table below:

		1 = high ( $\leq 10$ m) 0 = low ( $> 10$ m) 0 = default
Longitude	28	Longitude in 1/10 000 min ( $\pm 180$ deg, East = positive (as per 2's complement), West = negative (as per 2's complement). 181 = (6791AC0h) = not available = default)
Latitude	27	Latitude in 1/10 000 min ( $\pm 90$ deg, North = positive (as per 2's complement), South = negative (as per 2's complement). 91deg (3412140h) = not available = default)
COG	12	Course over ground in 1/10 = (0-3599). 3600 (E10h) = not available = default. 3 601-4 095 should not be used
True heading	9	Degrees (0-359) (511 indicates not available = default)
Time stamp	6	UTC second when the report was generated by the electronic position system (EPFS) (0-59, or 60 if time stamp is not available, which should also be the default value, or 61 if positioning system is in manual input mode, or 62 if electronic position fixing system operates in estimated (dead reckoning) mode, or 63 if the positioning system is inoperative)
Special manoeuvre indicator	2	0 = not available = default 1 = not engaged in special maneuver 2 = engaged in special maneuver
Spare	3	Not used. Should be set to zero. Reserved for future use.
RAIM-flag	1	Receiver autonomous integrity monitoring (RAIM) flag of electronic position fixing device; 0 = RAIM not in use = default; 1 = RAIM in use. See Table
Communication state	19	See Rec. ITU-R M.1371-5 Table 49
Number of bits	168	

完成上述各項 AIS 資訊標準規範，包含 AIS 訊息資料類型、訊息長度以及標頭格式等屬性之解析後，即能瞭解 AIS 資料類型所定義的欄位格式與存放資訊內容。在 AIS 資料探勘與預處理部分，研究首先需要將獲取的 AIS 數據完成解碼處理後再進行探勘，其探勘主要是針對 AIS 資料庫中重複性的 AIS 資料、因資料接收完整度受影響導致欄位數據錯誤資料及不完整的資料進行預處理，確保 AIS 資料庫的數據品質及後續相關模擬與運算的可靠度。為能降低系統平台處理 AIS 資料的作業負擔，以利即時將解碼與格式轉換後的 AIS 船舶經緯度座標傳至多軸無人載具進行追蹤。除針對介接之 AIS 資料庫的數據進行探勘與處理外，在團隊實海域測試飛行過程，亦嘗試透過架設 AIS 接收站的方式獲取區域性範圍的即時 AIS 船舶資料，並將其匯入系統進行解碼、資料探勘、數據整理與格式轉換作業，如此除了可改善因資料中繼點過多造成的延遲性問題外，亦可有效解決 AIS 資料的數據量過大之情形。

研究從資料介接與處理的過程發現有許多不屬船舶的 AIS 資料或異常資料，包括水上無線電服務的海岸電台、GPS 系統之 VHF 收發器訊號、應急指位無線電示標或是 AIS 浮標等所發送的 AIS 資料被 AIS 岸台基站所接收。因此，我們藉由編譯排程除錯演算法偵測完成解碼的 AIS 各個欄位數據是否存在異常資料。排程演算法每分鐘會自動針對系統當下所有完成解碼的 AIS 資料進行該次介接 AIS 資料的處理。首先將介接的 AIS 資料更新至未處理資料表，同時將其新增至未處理歷史資料表，再依序執行船舶 MMSI、船舶航速、船舶航向、真航向及船舶當前位置的異常判斷識別，存在異常欄位數據的 AIS 資料經剔除後，則將完成處理的 AIS 資料更新至已處理資料表，同時新增至已處理歷史資料表，而原始所介接的 AIS 資料亦會同步留存。其排程演算與 AIS 資料整理流程如圖 4-1 所示。

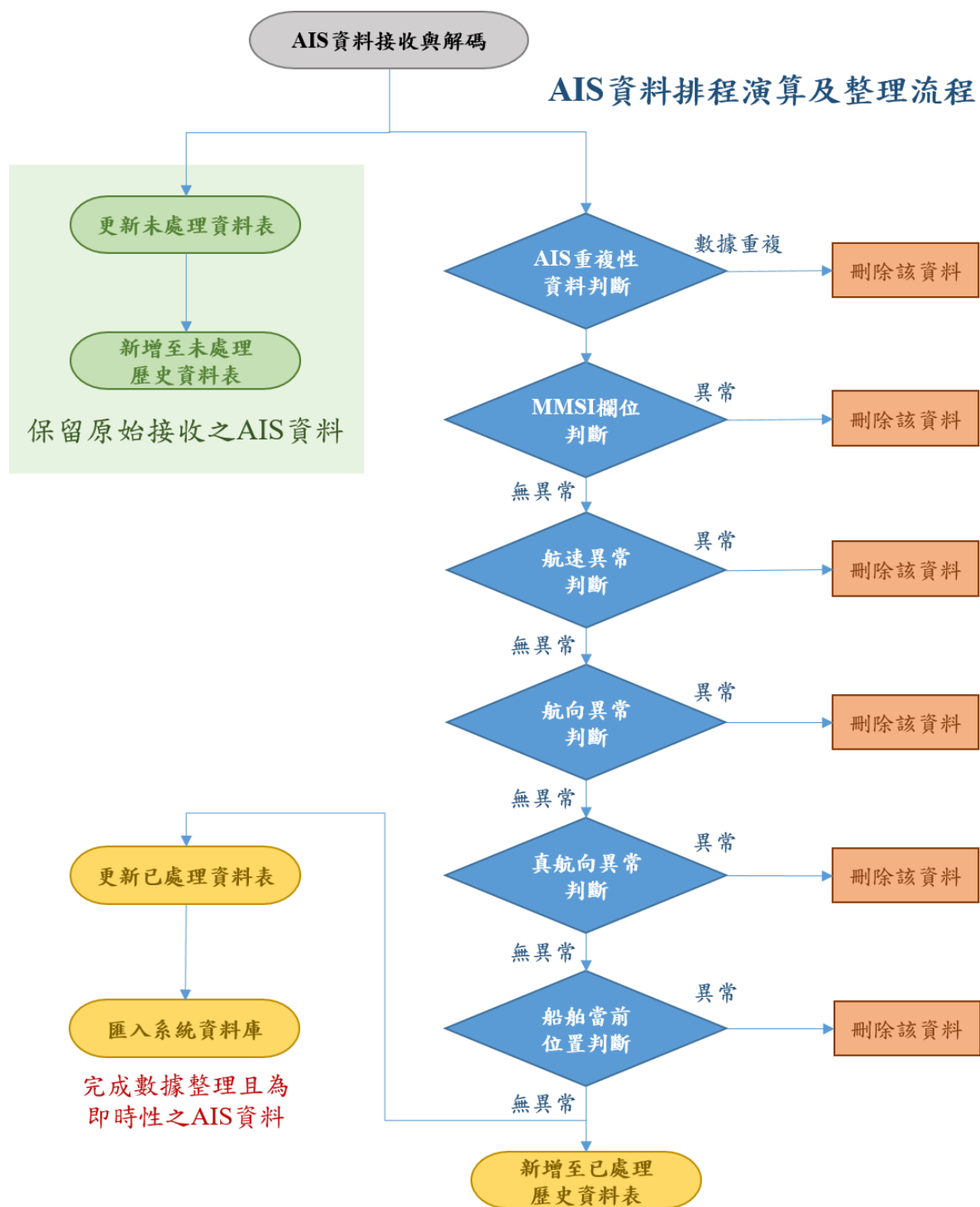


圖 4-1 排程演算與 AIS 資料整理流程

在前述處理過程中，研究將 AIS 資料分為未處理資料與已處理資料兩類別，從圖 4-2 與圖 4-3 可發現，研究介接的未處理 AIS 資料量為 6,448 筆，經過排程演算與資料整理除錯後的 AIS 資料量則降為 2,117 筆。

SQLQuery5.sql - D:ASHLPJCLL (53)\* \* X

SQLQuery5.sql - D:ASHLPJCLL (53)\* \* X

[Reference\_Position\_B]  
[Reference\_Position\_C]  
[Reference\_Position\_D]  
[Fixing\_Device]  
[ETA]  
[NO\_Draught]  
[Destination]  
[BTI]  
[Time\_Message]  
[Receiver\_Location]  
FROM [AIS\_MTC] [dbo] [AIS] ORDER BY Record\_Time

90 %

結果 取得

IDO_Number	Record_Time	Call_Sign	ShipName	MMSI	Navigation_Status	ROT	DOO	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG	True_Heading	Time_Sync	Communication_Status	Ship_and_Cargo_Type	Reference_Position	
1	2021-05-26 15:18:10.000	542100021	6	542100001	15	-129	4	0	121.25390	21.644012	271.2	511	10	NULL	30	0	
2	2021-05-26 15:18:11.000	896		210520092	15	-129	0.5	1	120.47908	26.759323	282	511	7	NULL	0	0	
3	2021-05-26 15:19:00.000		DONG HAI 678	413277260	1	-129	0	0	120.766308	26.02523	360	511	51	NULL	70	56	
4	2021-05-26 15:19:03.000		LIAMBE188	413452360	15	-129	6.4	1	119.046777	24.904798	207.5	511	2	NULL	0	0	
5	2021-05-26 15:19:05.000	88337-27	873	48833727	15	-129	0.5	1	120.972205	26.472285	182.2	511	5	NULL	0	0	
6	2021-05-26 15:19:06.000	542100022	47	542100002	15	-129	5.4	0	121.252713	21.644215	282.4	511	7	NULL	0	0	
7	2021-05-26 15:19:10.000	13018		412469177	0	0	0	1	117.02732	23.412947	0	511	60	NULL	30	15	
8	2021-05-26 15:19:10.000	14079		412469243	0	0	0	1	117.026412	23.412287	304.6	511	60	NULL	30	11	
9	2021-05-26 15:19:10.000	YY92280		412417973	15	0	0	1	120.563987	27.569979	173.9	511	60	NULL	30	19	
10	2021-05-26 15:19:12.000			416000391	15	-129	1.9	1	122.29946	21.497655	59.8	511	12	NULL	70	0	
11	2021-05-26 15:19:14.000		SDCT33016-28	97	994030628	15	-129	5	0	122.994803	23.154625	282.6	511	15	NULL	0	0
12	2021-05-26 15:19:15.000		SHIM FENG HAO 16 HAO	413702910	15	-129	10	1	119.26265	25.1699	377.4	511	14	NULL	0	0	
13	2021-05-26 15:19:15.000	0		413707730	15	-129	0.2	0	118.17496	24.533923	303.4	511	60	NULL	37	8	
14	2021-05-26 15:19:16.000		AIZ NET MARK	416750006	15	-129	1.2	1	122.647353	22.136810	303.4	511	11	NULL	39	2	
15	2021-05-26 15:19:21.000		MINHUYU0007-03-74%	700003	15	-129	1	0	118.966068	24.879902	282.9	511	60	NULL	0	20	
16	2021-05-26 15:19:23.000		MINLIANYU000313	412505544	15	-129	0	0	119.655207	26.28547	0	511	21	NULL	30	5	
17	2021-05-26 15:19:27.000		LDO TONG 3001	413456360	15	-129	0.2	0	120.600373	27.367276	222.7	511	60	NULL	0	0	
18	2021-05-26 15:19:28.000	WE-4000		416310000	15	-129	1.6	1	120.30377	21.754053	164.1	511	25	NULL	92	2	
19	2021-05-26 15:19:29.000	05521-10		320552110	15	-129	1.8	1	120.50217	25.428022	0	511	60	NULL	0	0	
20	2021-05-26 15:19:30.000	003896012		3896012	15	-129	1.7	1	122.776335	22.189597	0	511	60	NULL	0	2	
21	2021-05-26 15:19:31.000		MINPUBUYU001378	412507692	15	0	0.6	1	119.676327	26.74472	0	511	60	NULL	0	6	
22	2021-05-26 15:19:43.000	YR0		412508119	15	0	0.2	1	119.880342	25.508082	0	511	60	NULL	0	0	
23	2021-05-26 15:19:45.000	008555 44		850515181	15	0	0.2	1	120.944547	26.919697	0	511	60	NULL	0	6	
24	2021-05-26 15:19:50.000			2	15	-129	0.3	0	119.855315	24.169813	174.2	511	45	NULL	52	0	
25	2021-05-26 15:19:53.000	02259		412202259	0	0	7.4	1	120.856397	26.90900	278.2	511	50	NULL	30	0	
26	2021-05-26 15:19:54.000	RA00316		412411726	0	0	2.7	1	120.820642	27.610285	166.6	173	60	NULL	30	14	
27	2021-05-26 15:19:56.000	0004007		790040007	15	0	0	1	117.029412	23.473787	0	511	60	NULL	30	20	
28	2021-05-26 15:19:57.000	HE FENG BO 1		416008283	15	-129	0	1	121.83618	24.867487	212.5	511	57	NULL	0	0	

DESKTOP-SAGHLF (15.0 RTM) | DESKTOP-SAGHLF\JCLL (53) | AIS\_MTC | 00:00:00 | 6,448 資料列

圖 4-2 未處理 AIS 資料量

SQLQuery6.sql - D:\ASHLP\JCLL (53)\* \* X SQLQuery6.sql - D:\ASHLP\JCLL (53)\* \* X

[Reference\_Position\_B]  
[Reference\_Position\_C]  
[Reference\_Position\_D]  
[Fixing\_Device]  
[ETA]  
[NO\_Draught]  
[Destination]  
[BTI]  
[Time\_Message]  
[Receiver\_Location]  
FROM [AIS\_MTC] [dbo] [AIS\_Clean] ORDER BY Record\_Time

90 %

IDO_Number	Record_Time	Call_Sign	ShipName	MMSI	Navigation_Status	ROT	DOO	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG	True_Heading	Time_Sync	Communication_Status	Ship_and_Cargo_Type	Reference_Position
1	2021-05-26 15:19:54.000	RA00316		412431726	0	0	2.7	1	120.820642	27.610285	166.6	173	60	NULL	30	14
2	2021-05-26 15:19:57.000	55108+19- 45%		215516819	15	-129	0.3	0	120.612272	25.403852	181	0	1	NULL	200	6
3	2021-05-26 15:20:04.000	26733		412000733	15	-129	0	0	119.757712	26.262775	306	306	3	NULL	30	5
4	2021-05-26 15:20:21.000	0000000	AN QIAN ZHOU 68	412730090	15	-129	0	1	119.67955	25.635533	75	75	60	NULL	70	42
5	2021-05-26 15:20:22.000		MIN DOBO YU01202	412446179	15	-129	0.1	0	119.596473	23.41042	14.5	214	22	NULL	0	0
6	2021-05-26 15:20:23.000			41210422	15	-129	0	0	120.463922	27.177727	0	0	59	NULL	30	15
7	2021-05-26 15:20:30.000			215516819	15	-129	1.4	0	120.60007	25.417362	32	0	2	NULL	0	6
8	2021-05-26 15:20:34.000	RA00302	ZHEROTUYU0000302	412431733	0	0	4	1	120.02213	27.569922	172.2	177	60	NULL	30	18
9	2021-05-26 15:20:52.000	03816		700389448	15	-129	0.1	0	118.304315	23.654793	36.9	14	51	NULL	75	15
10	2021-05-26 15:20:57.000		CHATHREN 906	416000500	15	0	0	1	121.373212	25.142192	36.9	22	60	NULL	70	511
11	2021-05-26 15:21:06.000	BH4759		416002142	15	-129	1.8	0	122.789817	21.965995	340.7	351	5	NULL	30	11
12	2021-05-26 15:21:12.000		XINBO GABO 586	414402180	0	0	0	1	120.696825	27.482272	207.9	207	60	NULL	70	30
13	2021-05-26 15:21:37.000	DAG2868	STELLA 1	628060000	0	-129	8.8	1	123.77935	27.452043	283.2	206	34	NULL	60	27
14	2021-05-26 15:21:37.000			300018307	15	-129	9.3	0	120.386633	27.200308	333.6	333	36	NULL	0	0
15	2021-05-26 15:21:39.000		MIN TONG TONG 02 2	700000262	15	-129	10.5	0	117.941207	23.367857	289.8	289	39	NULL	0	0
16	2021-05-26 15:21:43.000			413980977	15	-129	7.3	0	118.23943	23.801778	246.6	254	44	NULL	70	15
17	2021-05-26 15:21:47.000		SHENYUANKESH167	413450730	0	-129	0	0	120.51272	27.170018	79.4	21	46	NULL	33	40
18	2021-05-26 15:21:49.000	00090-17-62%		550008617	15	-129	0.3	0	120.635712	25.410395	74	24	60	NULL	0	0
19	2021-05-26 15:21:52.000	0	HH	300011984	0	0	0.2	1	120.375977	26.996857	22	0	60	NULL	0	0
20	2021-05-26 15:21:53.000	DOAM2	XING MAO XIN HAI	413214950	1	0	0.2	1	121.158867	27.94791	15	0	60	NULL	30	90
21	2021-05-26 15:22:01.000		SHEN YUAN 18	413493990	15	-129	0	0	120.512447	27.170382	10	0	60	NULL	30	10
22	2021-05-26 15:22:13.000	BTY W0	FANLUN	412470180	0	0	1.7	1	117.669785	23.543917	4	0	60	NULL	30	53
23	2021-05-26 15:22:13.000	BTY W0	FANLUN	412470180	1	0	0.2	1	118.082742	24.518835	14	0	60	NULL	30	75
24	2021-05-26 15:22:14.000	0	YI HAN YU	416003116	0	0	0.8	0	121.904869	24.911380	342.0	0	60	NULL	30	3
25	2021-05-26 15:22:14.000	0310641 87%		413003106	15	-129	0.5	0	120.95723	26.503483	65	0	3	NULL	300	6
26	2021-05-26 15:22:24.000	6LPER	YI SHUN 15	414445320	0	0	11.9	1	120.952015	27.493065	36.5	35	25	NULL	80	99
27	2021-05-26 15:22:36.000	YTA2238	NEI30C SANTO30M	588008115	0	3	11.9	0	118.781577	21.986925	217.4	216	35	NULL	80	279
28	2021-05-26 15:22:44.000	5LAB8	LUBOV	630207553	0	0	0	0	121.890857	27.045355	289.2	212	41	NULL	70	124

DESKTOP-SAGHLF (15.0 RTM) | DESKTOP-SAGHLF\JCLL (53) | AIS\_MTC | 00:00:00 | 2,117 資料列

圖 4-3 處理後之 AIS 資料量



本次排程除錯演算法所偵測的資料欄位分別為船舶 MMSI、航速、航向、真航向及船舶當前位置，表 4-2 為排程除錯演算法在介接 AIS 資料庫，偵測 AIS 資料各欄位數據的異常與否的依據，其欄位數據判斷初步先以各數據格式是否符合 ITU 制定的格式規範，由於在後續無人載具是以完成數據整理的 AIS 資料進行目標船舶追蹤。因此，在船舶當前位置的識別，研究則透過當前接收的該筆船舶 AIS 資料與該船前一筆歷史 AIS 資料進行資料接收時間差、船舶經緯度座標與航速進行該船當前位置的識別，藉以判斷其船舶位置是否異常。

表 4-2 AIS 資料欄位數據異常判斷條件

項目	異常欄位屬性	判斷條件
1	重複性 AIS 資料	判斷欄位數據參數值，並剔除重複性的 AIS 資料。
2	MMSI 不足 9 碼	識別完成解碼之船舶 MMSI 是否符合 9 碼格式規範。
3	MMSI 第一碼為‘0’開頭	判斷完成解碼之船舶 MMSI 首位識別碼是否為 0, 1, 8, 9 開頭，藉以將非指配給船舶的 AIS 資料剔除。
4	MMSI 第一碼為‘1’開頭	
5	MMSI 第一碼為‘8’開頭	
6	MMSI 第一碼為‘9’開頭	
7	船舶航速異常	依據船舶種類判別異常航速的 AIS 資料進行剔除。
8	船舶航向異常	船舶航向為船舶輪舵轉向的數據值，演算法將剔除格式規範角度數據為 0 度角至 359 度角以外之 AIS 資料。
9	真航向異常	真航向為船舶目前船艏角度的數據值，演算法將剔除格式規範角度數據為 0 度角至 359 度角以外之 AIS 資料。
10	船舶當前位置	依據前後筆船舶 AIS 資料進行資料接收時間差、經緯度座標與航速計算船舶當前位置是否異常。



## 一、重複性 AIS 資料

在接收完成解碼後的 AIS 資料進行排程除錯處理時，發現部份的船舶 AIS 資料存在重複性的問題，包括相同接收時間(Record\_Time)之 AIS 資料重複性，或是不同接收時間的 AIS 資料欄位數據相同的狀況。此狀況將導致同一接收時間下，該船舶具有兩筆不同 AIS 資料的問題。圖 4-4 為完成解碼後進行 AIS 資料排程除錯時，發現該船舶資料在相同接收時間存在 3 筆重複性的 AIS 資料。

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG	Record_Time
	412211819	15	128	2.7	0	120.93612	27.51679	75	2021-08-12 21:12:23.000
	412211819	15	128	2.7	0	120.93723	27.51752	75	2021-08-12 21:13:12.000
	412211819	15	128	2.7	0	120.93812	27.51845	75	2021-08-12 21:14:11.000
	412211819	15	128	2.7	0	120.93923	27.51945	75	2021-08-12 21:14:11.000
	412211819	15	128	2.7	0	120.94089	27.52022	75	2021-08-12 21:16:11.000
	412211819	15	128	2.7	0	120.94149	27.52156	75	2021-08-12 21:17:23.000
	412211819	15	128	2.7	0	120.94149	27.52156	75	2021-08-12 21:17:23.000
	412211819	15	128	2.7	0	120.94149	27.52156	75	2021-08-12 21:17:23.000
	412211819	15	128	2.7	0	120.94268	27.52281	75	2021-08-12 21:18:31.000

圖 4-4 重複性 AIS 資料

## 二、水上行動業務識別碼 (MMSI) 異常

水上行動業務識別號碼 (Maritime Mobile Service Identity, MMSI) 為 9 位數的數字組成，主要提供其它船舶、船舶電台、船舶地球電台及海岸電台等識別所用，具備唯一性。由各國權責主管機關核配一個 9 碼之識別號碼，使其在進行一般通訊、遇險或安全通訊時，能自動表示身分以供識別。根據 ITU-R M.585-8 與 ITU-T E.217 建議書的規範，船舶的 MMSI 第一碼為‘2’至‘7’，詳細資訊如表 4-3 所示：

表 4-3 MMSI 指配分類

MMSI 第一碼編號	用途
0	水上無線電服務的海岸電台和其他陸地電台。
1	搜救定翼機與搜救直升機。
2	歐洲船舶。

3	北美洲船舶。
4	亞洲船舶（東南亞除外）。
5	大西洋與東南亞船舶。
6	非洲船舶。
7	南美洲船舶。
8	全球導航衛星系統的手持 VHF 收發器。
9	自由格式數字標識的設備（搜救發射器(SART)、落水人員告警裝置(MOB)、應急指位無線電示標(EPIRB)）。

依據 ITU-R M.585-8 與 ITU-TE.217 建議書的規範可以得知，MMSI 中第一碼為‘2’至‘7’的識別碼屬船舶指配所用，因此研究將 MMSI 不足 9 碼、第一碼為‘0’開頭、第一碼為‘1’開頭、第一碼為‘8’開頭與第一碼為‘9’開頭的 AIS 資料進行剔除。

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG
NET BUOY 0378%	527603	15	128	0	0	120.08816	23.20886	166
LONGLINE BUOY 02 20%	539002	15	128	4.1	0	121.902187	22.106708	95.5
LONGLINE BUOY 03 08%	539003	15	128	1.3	0	121.900203	22.10697	105.3
LONGLINE BUOY 0548%	539005	15	128	4.7	0	121.899538	22.100723	325.3
LONGLINE BUOY 07 27%	539007	15	128	0.7	0	121.899875	22.106857	214.9
LONGLINE BUOY 0914%	539009	15	128	2	0	121.904522	22.107227	31.5
LONGLINE BUOY 05 69%	542305	15	128	5.5	0	121.622652	21.664992	218
LONGLINE BUOY 9990%	542399	15	128	3.6	0	121.62274	21.664785	222
LONGLINE BUOY 00 99%	542700	15	128	6.2	0	121.97453	22.096147	181.4

圖 4-5 MMSI 不足 9 碼

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG
CTR-TT0085-05	103103855	15	128	0	0	121.458018	23.313237	0
26333-13-75%	100033091	15	128	0.2	1	120.484052	26.775448	150.8
2 MAAN FENG	100044202	15	128	0.5	1	121.380852	23.09908	60
2CT3-4726	100047262	15	128	4.3	1	121.298152	22.709765	268.4
CT2-4765 NO.02	100047652	15	128	6.9	1	121.476847	23.335232	180.7
CT2-4765 NO.03	100047653	15	128	7.7	1	121.476915	23.335693	181.4
CT2-4765 NO.04	100047654	15	128	6.5	1	121.476683	23.334202	177.9
CT2-4765 NO.05	100047655	15	128	7.5	1	121.476847	23.334345	174.4
CT2-4765 NO.07	100047657	15	128	6.6	1	121.476555	23.332192	180.7

圖 4-6 MMSI 首位識別碼為‘1’開頭

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG
	800023439	15	128	10...	0	181	91	360
MINHUIYUYUHUIO...	800023562	15	128	2.9	0	119.021722	24.962267	178.9
MINQUANTAIYU06...	800043574	15	128	6.9	0	118.913462	24.857557	258.2
MINHUIYU00039	800043842	15	128	5.5	0	119.034795	24.825852	319.1
	800045135	0	0	7.4	1	120.486687	26.969487	353.9
	800049839	0	0	5.3	1	119.021437	25.051205	208.7
MINHUITAIYU00303	800049986	15	128	7.5	0	118.938592	24.84764	294.8
	800050002	15	128	6.3	0	122.01252	25.062247	185.6
	800033066	15	128	0.8	0	119.220983	24.871893	168

圖 4-7 MMSI 首位識別碼為‘8’開頭

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG
WLJJ8	994136524	15	24	0.6	1	119.432167	25.978332	238
R6 YU JIAL D	994136541	0	0	40	1	119.705707	25.499722	334.6
HUANGSHANQIQTD	994136545	15	0	0	1	119.881667	26.312777	0
HY 36 WRECK	994136548	3	0	93.1	1	119.8875	26.140167	92.6
MIN GUANG 188 WRE...	994136549	14	24	0.6	1	118.531967	24.36095	275.7
AO QIAN WRECK	994136552	14	0	14.6	1	119.818332	25.444167	62
ZHU TOU JIAO	994136553	8	0	21.8	1	119.658112	25.752612	44.7
XHS 168 WRECK	994136563	14	47	8.9	1	119.656667	25.589167	49.1
HX 107 WRECK	994136576	3	31	0	1	119.991832	26.4495	208.7

圖 4-8 MMSI 首位識別碼為‘9’開頭

### 三、船舶航速 (SOG) 異常

海上船舶航行的速度會因為不同的船種而有所不同，因此研究初步研析現階段各種大型船舶的最高航行速度與平均航行速度，將其做為船舶異常航速偵測基準值。以大型貨輪為例，最高航速約為 20 至 25 節，常態巡航速度則落在 16 至 17 節；而國際線的客、郵輪最高航速可達 40 節，常態巡航速度則落在 20 至 25 節；散裝船最高航速則與貨輪近似約為 20 至 25 節，其常態巡航速度則較貨輪慢，多半落在 13 至 14 節；液態天然氣載運船 (LNG) 最高船航速約為 15 至 20 節，常態巡航速度則是落在 11 至 14 節不等。在船舶航速數據欄位異常檢測的部分，如圖 4-9 所示，研究依據船舶種類的不同將船舶航速過高的異常資料予以剔除。

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG
LKPING YU 61789	4132703	2	5	79.8	1	119.705812	25.466722	40.7
	4132715	1	0	92	1	119.684177	26.808552	147.4
	160700007	0	0	102.3	1	118.698297	24.68698	360
	200001811	0	0	102.3	1	120.461765	26.949605	360
SPACEON03726	200903726	0	0	102.3	1	118.884817	24.761967	360
A	201204131	0	-128	102.3	0	181	91	360
NAMEOFSHIP	201208170	5	-128	102.3	0	181	91	360
0688 SOS	96001461	0	0	102.3	1	119.870272	26.371067	360
	4139804	0	3	97	1	-198.175478	-23.023442	198.6

\*AIS船舶若未提供航速(SOG)數據，其原始預設值為102.3

圖 4-9 船舶航速異常

#### 四、船舶航向 (COG) 異常

船舶航向為船舶輪舵轉向的數據值，角度數據為 0 度角至 359 度角。因此在此欄位異常偵測基準須將小於 0 度角或大於 359 度角的 AIS 資料剔除。

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG
	416006804	15	128	0	1	120.437313	22.472985	360
CHAU HSEN NO 28	416006846	15	-128	10...	0	181	91	360
	416745000	15	128	0	1	120.316953	22.568277	360
	416905074	15	128	0	0	121.86588	24.584903	360
	416924000	15	128	0	1	121.77808	25.149297	360
	433697702	6	103	20.4	1	-178.9595...	-90.5263...	373.7
YUNG AN NO.1	416073700	0	-128	0	1	120.335587	22.539255	360
KMSC NO.341	416073800	15	-128	0	1	120.28212	22.616113	360
	416198500	15	128	0	0	120.435795	22.47251	360

\*AIS船舶若未提供航向(COG)數據，其原始預設值為360.0

圖 4-10 船舶航向異常

#### 五、真航向 (True\_Heading) 異常

真航向為船舶目前船艏角度的數據值，角度數據為 0 度角至 359 度角之間。因此在該欄位異常偵測基準須將小於 0 度角或大於 359 度角的 AIS 資料剔除。

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG	True_Heading
3021--1 7V9	302100001	15	128	0.3	1	119.936287	26.108532	214	480
88652+1 7V5	202886521	15	128	0	1	120.576105	26.830183	273.4	480
JNP-T 8V1	130005809	15	128	0.1	1	121.868607	24.903442	0	480
JNP-U 8V3	131005809	15	128	0.2	1	121.868693	24.903398	0	480
CT3-47260612V0	200472606	15	128	4.6	1	121.301232	22.708597	248	480
	260155358	15	-64	16.8	0	-219.0378	13.372187	156	478
0033311V7	201700333	15	128	7.4	1	121.465455	25.41935	240.3	480
SHUNLIYANGZHI0047V9	412094444	15	0	0.8	1	116.741532	23.217307	0	480
SHUNLIYANGZHI0028V2	412092222	0	0	0	1	116.741082	23.219177	0	480

圖 4-11 真航向異常

## 六、船舶當前位置判斷

由於載具追蹤目標船舶航行預測位置的計算依據，是以該目標船舶當前經緯度座標進行後續航行位置的預測推估，因此在 AIS 資料探勘與預處理的過程，我們於排程除錯演算法進一步針對船舶當前位置的資料正確性進行識別確認，主要是期望能減少後續提供系統平台進行船舶航行軌跡預測模型建置時，其預測精度失準的情況發生。在此判斷步驟是以每艘船舶的當前 AIS 資料與前一筆 AIS 資料進行比對，透過該船前後筆 AIS 資料接收時間、經緯度座標變化(船舶航行距離)與航速進行計算，予以判斷其船舶當前位置是否存在異常。從圖 4-12 可以發現該船舶連續 10 筆 AIS 資料的航速與資料接收時間變化不大的情況下，該船舶經緯度距離變化約落在 50~100m/min，而異常位置變化距離則達到 3.52 公里。

ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG	Record_Time
	416104500	15	128	0.1	0	122.233527	25.84619	8.8	2021-08-21 14:23:45.000
	416104500	15	128	0.1	0	122.233545	25.84631	8.8	2021-08-21 14:24:41.000
	416104500	15	128	0.2	0	122.233581	25.84675	8.8	2021-08-21 14:25:41.000
	416104500	15	128	0.3	0	122.233604	25.84692	8.8	2021-08-21 14:26:48.000
	416104500	15	128	0.4	0	122.233623	25.84709	8.8	2021-08-21 14:27:40.000
	416104500	15	128	0.5	0	122.233646	25.84727	8.8	2021-08-21 14:28:38.000
	416104500	15	128	0.4	0	122.234841	25.87891	8.8	2021-08-21 14:29:47.000
	416104500	15	128	0.3	0	122.233691	25.84784	8.8	2021-08-21 14:30:41.000
	416104500	15	128	0.4	0	122.233721	25.84812	8.8	2021-08-21 14:31:39.000
	416104500	15	128	0.5	0	122.233749	25.84842	8.8	2021-08-21 14:32:47.000

圖 4-12 船舶當前位置數據異常

本次研究於進行船舶 AIS 資料探勘與預處理的過程，發現由於全台涵蓋離島範圍的 AIS 資料量相當龐大，在資料傳輸或進行運算處理等過程中，往往因為資料量過大造成系統的延遲性問題。而排程演算與資料整理除錯則可大幅剔除錯誤或異常數據外，亦可減輕系統資料庫的運算處理負擔。在系統場域實測過程，我們亦嘗試透過架設 AIS 接收站的方式獲取區域性範圍的即時 AIS 船舶資料，架設區域性的 AIS 接收站優點在於所接收的即時 AIS 船舶資料經系統平台解碼後，能立即進行探勘與預處理剔除錯誤資料。如此不僅可於一開始即避免從全台 AIS 接收站接收 AIS 資料量過大的情況，亦可減少船舶 AIS 資料回傳須經岸台基站、交通部航港局至國家海洋研究院，最後再經



由本次研究的資料庫接收進行解碼、處理等作業，改善過多資料傳輸中繼節點所造成的資料處理時間差。

## 第二節 無人載具之多船舶 AIS 目標自主追蹤軟體開發

於前述第一節完成 AIS 資料探勘與預處理後，完成處理的 AIS 資料將會更新至已處理資料表，並匯入系統平台的資料庫。在此階段研究則可運用學習演算法對船舶 AIS 動態資料進行資訊分析，由於解碼且完成整理除錯的 AIS 欄位訊息能使資料樣本具有多樣化(Variety)特性，其資料型態包括結構化與非結構化資訊，如 AIS 資料內所含的船舶航速、航向與經緯度座標等資訊。而船舶航行軌跡資料的分析與預測，技術包括船舶動態資訊時間序列分析、分類、時間空間異常檢測、資料關聯性分析、回歸分析、神經網路預測模型建立等。其中深度學習是船舶航行軌跡資料分析與預測的重要方法之一，基本理論是利用大量完成解碼的 AIS 資料經由資料特徵萃取找出資料特徵值求解出分類或回歸問題的決策函數，再利用學習演算法訓練模型能從大量的 AIS 資料中學習，建立船舶航行預測模型，從而對目標船舶的下一航行點進行預測。

根據 ITU-R M.1371-5 建議書已定義的 AIS 訊息資料類型有 27 種，分別適用於 Class A 和 Class B 資料傳輸使用，而每種資料類型所定義的欄位格式和存放資訊內容又有所差異，因每一種資料類型所含的資訊有所不同，AIS 標準中針對每一種資料類型的訊息內容亦分別規劃了不同的訊息格式。因此在完成前述船舶 AIS 資料預處理後，研究需要再依據這些資料類型進行初步的訊息內容分類(特徵萃取)。由於模型的目標為學習船舶的航行行為，因此需要將完成預處理的 AIS 資料部分欄位做為資料特徵，在這裡資料特徵可以視為影響預測結果的相關參數，包括船舶經緯度座標、船舶航速及航向，而標籤則是系統模型之預測結果，亦即代表預測船舶下一航行座標，其訓練的資料則是以每 5 筆資料為一固定間隔方式取樣 AIS 資料進行資料訓練處理。

	MMSI	ROT	SOG	Longitude	Latitude	COG	Record_Time	
$f_1$	416073700	128	9.7	119.423577	22.481045	231.0	2021-08-19 14:23:30.000	固定間隔取樣AIS資料
	416073700	128	9.7	119.422103	22.479933	231.0	2021-08-19 14:23:58.000	
	416073700	128	9.5	119.416888	22.476151	232.0	2021-08-19 14:24:42.000	
	416073700	128	9.4	119.416443	22.475418	232.0	2021-08-19 14:25:16.000	
	416073700	128	9.4	119.415706	22.475316	232.0	2021-08-19 14:25:52.000	
$f_2$	416073700	128	9.4	119.414270	22.473987	232.0	2021-08-19 14:26:23.000	
	416073700	128	9.5	119.412412	22.472924	232.0	2021-08-19 14:26:57.000	
	416073700	128	9.7	119.411665	22.472365	231.0	2021-08-19 14:28:09.000	
	416073700	128	9.6	119.410463	22.471271	232.0	2021-08-19 14:28:44.000	
	416073700	128	9.6	119.408664	22.470190	231.0	2021-08-19 14:30:21.000	
$f_3$	416073700	128	9.7	119.407530	22.469388	231.0	2021-08-19 14:31:05.000	
	416073700	128	9.7	119.406782	22.468839	231.0	2021-08-19 14:31:48.000	
	416073700	128	9.7	119.406337	22.468523	231.0	2021-08-19 14:32:29.000	
	416073700	128	9.6	119.398161	22.462502	232.0	2021-08-19 14:33:11.000	
	416073700	128	9.7	119.397493	22.461985	233.0	2021-08-19 14:33:50.000	
$L$	416073700	128	9.5	119.396320	22.461147	233.0	2021-08-19 14:35:17.000	

資料特徵				標 籤					
$f_1$	SOG	Longitude	Latitude	COG	$L$	SOG	Longitude	Latitude	COG
	9.7	119.423577	22.481045	231.0					
$f_2$	SOG	Longitude	Latitude	COG					
	9.4	119.414270	22.473987	232.0					
$f_3$	SOG	Longitude	Latitude	COG					
	9.7	119.407530	22.469388	231.0					
	SOG	Longitude	Latitude	COG					
	9.5	119.396320	22.461147	233.0					

圖 4-13 AIS 資料特徵與訓練

在完成 AIS 的資料訓練後，還需經學習演算法訓練產生一預測模型。由於船舶的 AIS 資料與時間成對應關係，且該對應關係只與前一個時間狀態有關聯。在神經網路模型中，循環神經網路(Recurrent Neural Network, RNN)架構特殊的隱藏層結構，使其非常適合處理時間序列。循環神經網路是一種具有短期記憶的神經網路，其原理是將神經元的輸出或隱藏層再接回神經元的輸入，使輸出值不僅僅受當下的輸入訊號影響，也受到過去本身的輸出或隱藏層所影響，由於這樣的特性，循環神經網路與其它神經網路相比更適合處理序列數據，循環神經網路有兩種架構，第一種為 Elman network、第二種為 Jordan network，Elman network 使用上一個時間戳記(Timestamp)的隱藏層做為其中一個輸入訊號，在架構上較符合 AIS 資料特性，其網路架構如圖 4-14 所示：

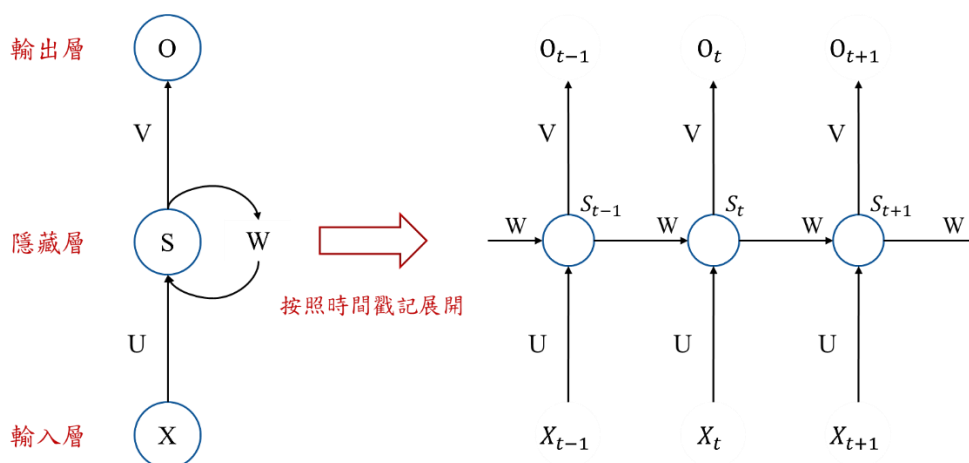


圖 4-14 Elman network 網路架構

從圖 4-14 可以得知，循環神經網路在不同時間戳記的輸入訊號為 $(X_{t-1}, X_t, X_{t+1})$ 、隱藏層為 $(S_{t-1}, S_t, S_{t+1})$ 、輸出為 $(O_{t-1}, O_t, O_{t+1})$ 、激活函數為 $(\tanh, f)$ 且權重為 $(U, V, W)$ 分別對應不同來源。在輸入訊號為 $X_t$ 時的隱藏層為(4.1)式、輸出為(4.2)式，其中輸出層的激活函數則可依網路需求做修改，隱藏層的激活函數固定為  $\tanh$  函數，如圖 4-15 所示。

$$S_t = \tanh(UX_t + WS_{t-1}) \quad (4.1)$$

$$O_t = f(VS_t) \quad (4.2)$$

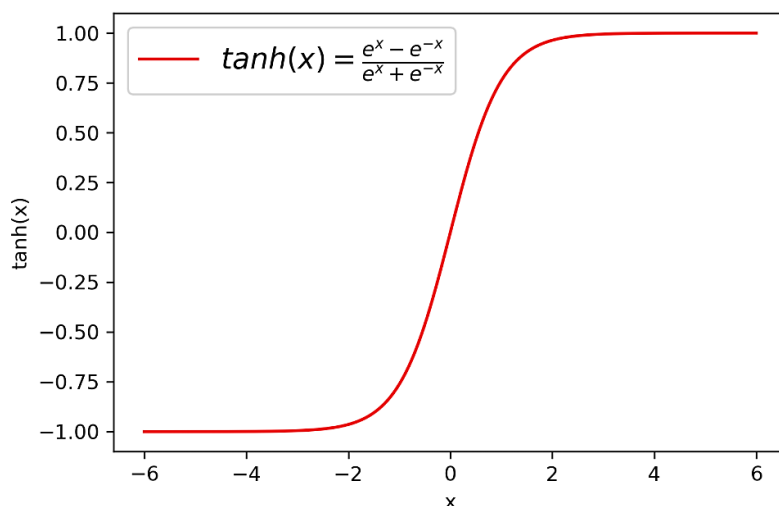


圖 4-15  $\tanh$  函數

長短期記憶網路是循環神經網路的一個變形，主要是為了解決循環神經網路中的長期依賴問題，循環神經網路在處理較長序列數據時，由於隱藏層會持續與權重相乘



並透過  $\tanh$  函數轉換，使距離目前時間戳記較遠的訊息影響力相當小，導致網路難以學習到其訊息。而長短期記憶網路則可透過三個控制閥(Gate)與單元狀態(Cell state)來決定訊息的儲存與丟棄進而解決該問題。長短期記憶網路中三個控制閥分別為 Forget Gate、Input Gate 及 Output Gate，Forget Gate 功能為透過當下的輸入與上一個時間戳記的輸出，決定要從單元狀態中刪除多少訊息。Input Gate 功能為透過當下的輸入與上一個時間戳記的輸出，決定要將那些訊息加進單元狀態。Output Gate 功能為透過當下的輸入與上一個時間戳記的輸出，決定要取單元狀態中的那些部分做為輸出。長短期記憶網路架構如圖 4-16 所示。其中每個黃色方格代表一個人工神經元、上一個時間戳記的輸出為  $h_{t-1}$ 、上一個時間戳記的單元狀態為  $C_{t-1}$ 、當下的輸入為  $X_t$ 、 $\text{sigmoid}$  函數為  $\sigma$ ，如圖 4-17 所示。

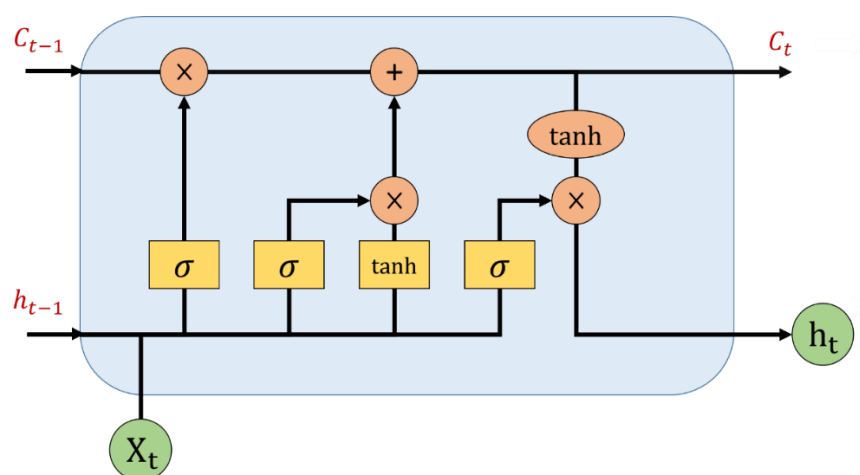


圖 4-16 長短期記憶網路架構

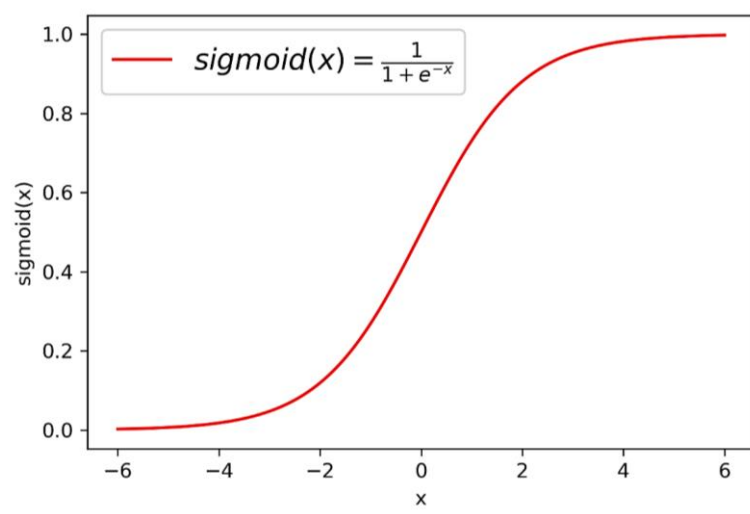


圖 4-17  $\text{sigmoid}$  函數

循環神經網路雖然能透過過去時間戳記的隱藏層或輸出決定當下的輸出，但如果可以同時透過過去時間戳記與未來時間戳記的訊息決定當下的輸出，對於預測模型在處理大量序列數據時會具備更好的效果。其中雙向循環神經網路(Bi-directional Recurrent Neural Network, BRNN)即符合此特性，該網路架構是使用兩個循環神經網路分別對序列數據進行前向及反向運算，且兩個循環神經網路連接著同一個輸出層，這樣的架構使每一個時間戳記的輸出都是透過完整的序列數據所決定，如圖 4-18 所示。雙向循環神經網路在不同時間戳記的輸入訊號為 $(X_{t-1}, X_t, X_{t+1})$ 、激活函數為 $(f)$ 、權重為 $(W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6)$ 分別對應不同來源。雙向循環神經網路在輸入訊號為 $X_t$ 時的前向層如(4.3)式、反向層如(4.4)式、輸出層則為(4.5)式，其中雙向架構只要是循環神經網路架構皆可相容。

$$h_t = f(W_1 X_t + W_2 h_{t-1}) \quad (4.3)$$

$$h_t = f(W_3 X_t + W_5 h_{t+1}) \quad (4.4)$$

$$O_t = W_4 h_t + W_6 h_t \quad (4.5)$$

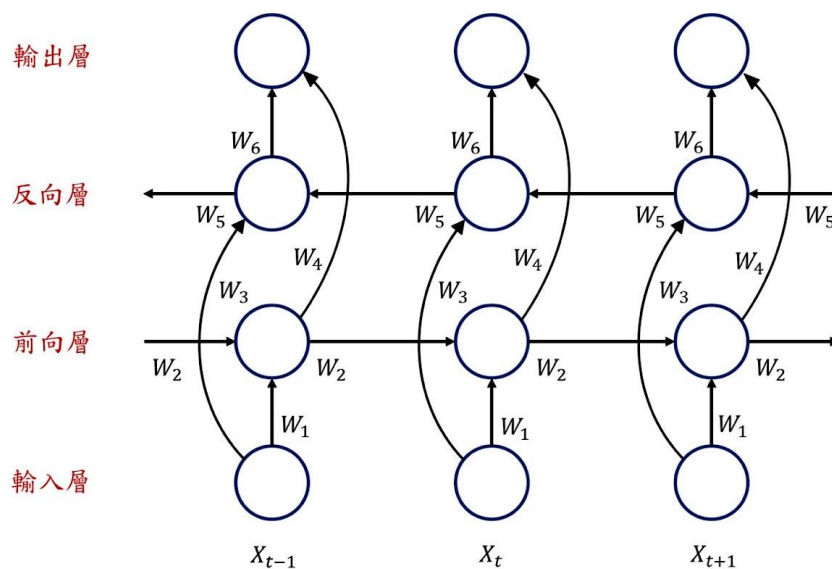


圖 4-18 雙向循環神經網路架構

綜合前述各神經網路特性分析，本研究在模型建置部分結合能夠處理大量序列數據特性的雙向循環神經網路架構做為建置船舶航行位置預測的模型架構。其模型的目的

標為學習船舶的航行行為，在前述亦已說明特徵萃取是以 AIS 資料的部分欄位做為資料特徵，包括經緯度座標、航向、航速及資料接收時間，而標籤則是預測船舶航行的經緯度座標。研究以 90% 比例做為訓練資料提供給模型進行訓練，10% 資料則做為測試資料提供給模型進行效能評估。由於每筆訓練資料由 3 筆特徵組成，其中每筆特徵又包含經緯度座標、航向、航速以及資料接收時間 5 個欄位數據，因此將模型的第 1 層輸入型態設為(3,5)，使雙向 LSTM 在 3 個時間戳記分別以 1 組特徵做為輸入。而模型輸出層為包含 2 個神經元的全連接層，代表模型推估船舶下一航行的經緯度座標。

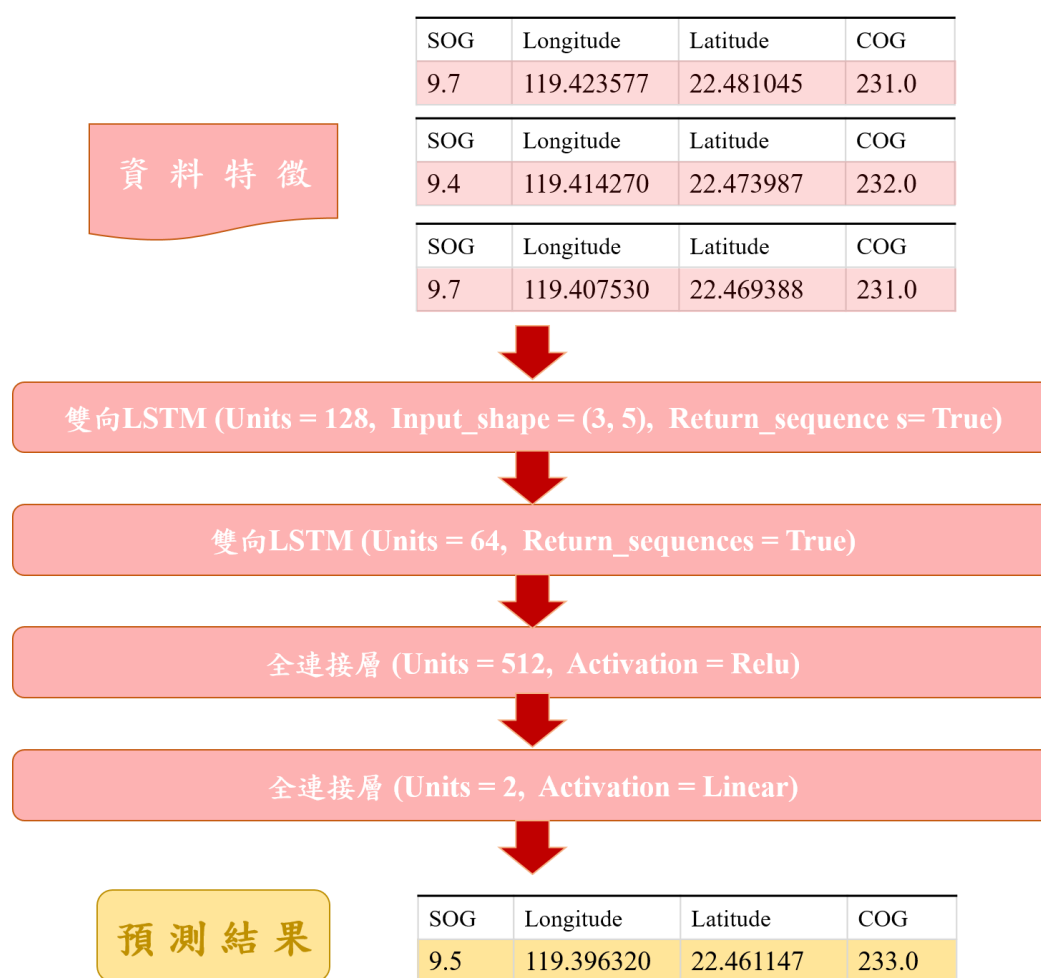


圖 4-19 系統模型架構

圖 4-20 至圖 4-22 為匯入 AIS 歷史資料表的數據進行船舶航行位置預測模型模擬測試，在此階段研究以船舶航行 1 分鐘與 5 分鐘後之預測位置和實際位置差異做為系

統預測精度評估，從圖例中可以發現過高的預測時間會大幅降低模型對時間欄位的學習能力，造成預測精度下降，使載具追蹤目標船舶預測位置誤差過大。考量載具最終目的為進行船舶煙流的追蹤監測，評估在進行目標船舶追蹤時僅須飛航至船舶即將航越的路線，故研究則透過降低預測時間點，確保船舶航行位置預測精度外，亦避免載具因懸停滯空時間過長導致不必要的能耗，以便後續追蹤船舶排放的煙流進行相關監測或採樣作業。

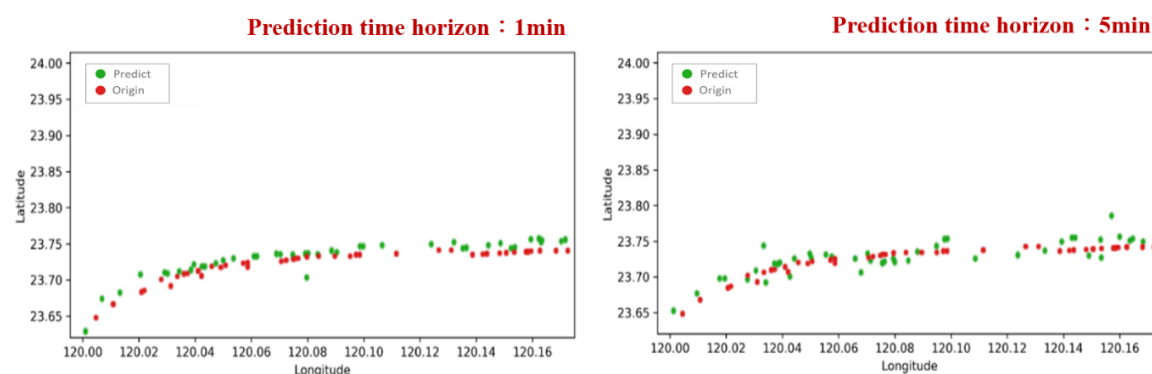


圖 4-20 MMSI：636014866 航行位置預測模擬

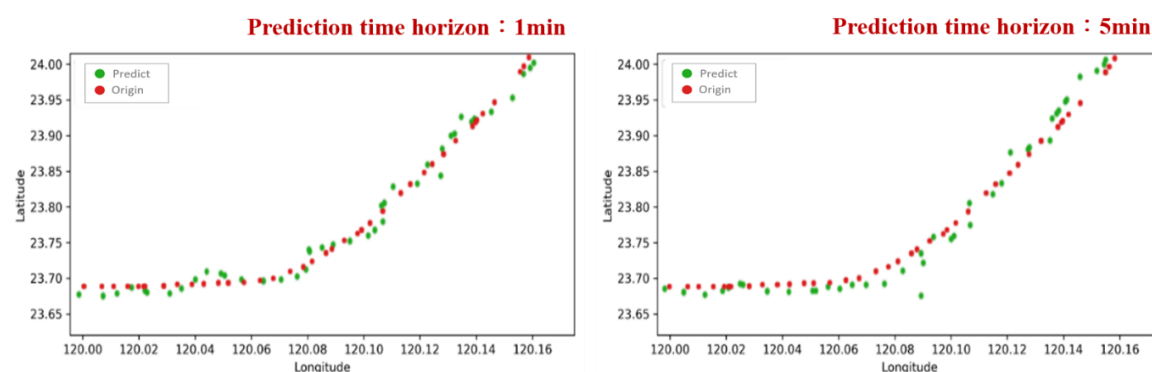


圖 4-21 MMSI：255805935 航行位置預測模擬

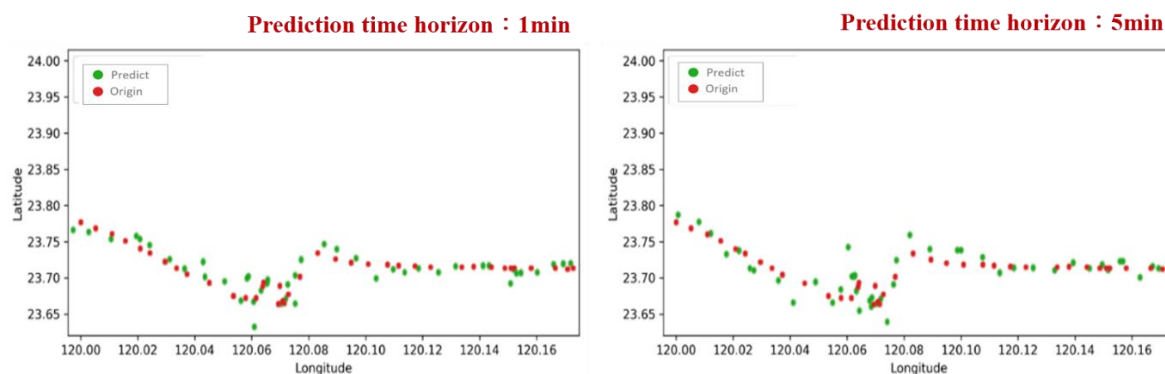


圖 4-22 MMSI：563032600 航行位置預測模擬

### 第三節 空污監測採樣裝置規劃設計

為使載具能達成海上船舶空污排放追蹤監測目的，在空污監測與採樣裝置的規劃設計部分，研究評估以無線通訊控制技術結合微型控制器進行載具掛載採樣裝置與空品感測模組之可行設計，整體設計擬透過載具端的空品感測模組獲取即時空氣品質監測資訊，並透過微型控制器與無線傳輸模組將監測資訊回傳至地面的系統平台，操作人員藉由平台顯示介面知悉當前載具追蹤目標船舶的空氣污染排放數據變化，評估是否啟動採樣裝置進行氣體採樣。其設計規劃架構如圖 4-23 所示：

#### 載具空污監測及採樣裝置規劃架構

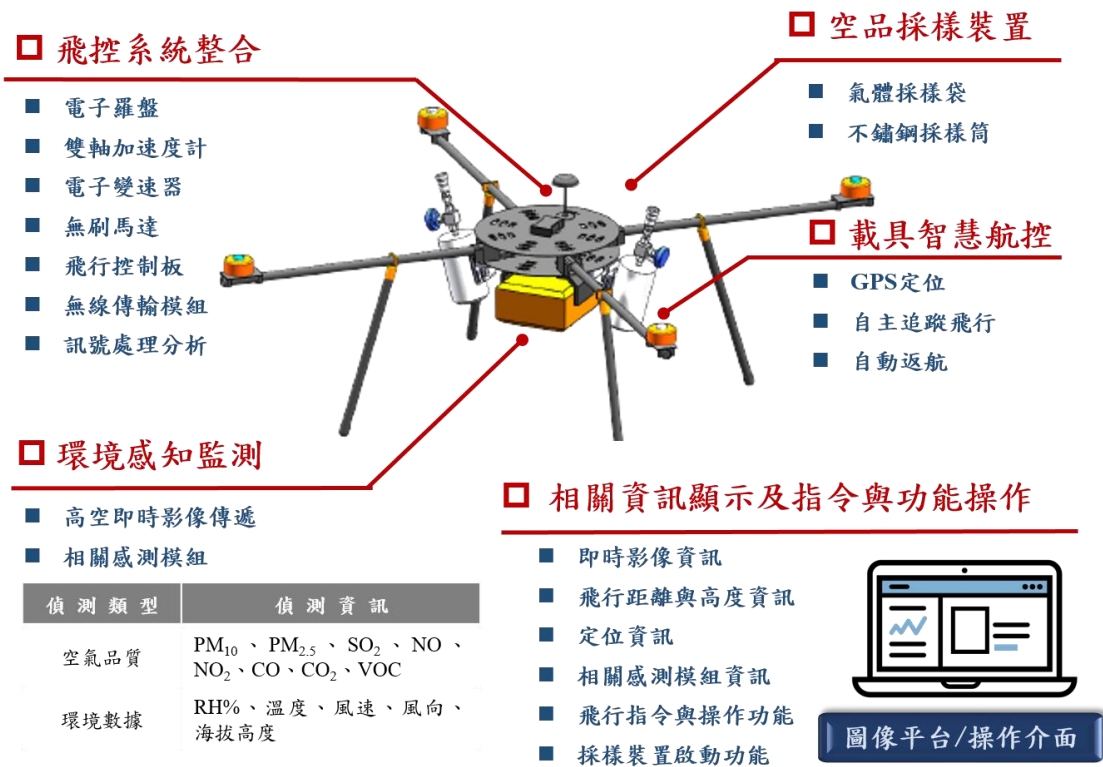
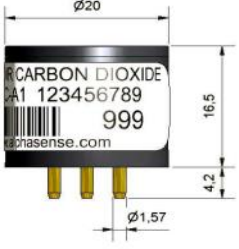


圖 4-23 載具空污監測及採樣裝置架構


依據前述第二章基本資料蒐集，研究綜整相關文獻初步盤點船舶排放空污相關化合物，包括 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、VOC 等，若再結合環境感測資訊，如溫濕度、Ph 等參數，可更加詳細了解船舶在航行時的空氣污染物排放數據。由於空品監測與應用目的之不同，其市面上亦有不同功能等級之空品感測模組，且環境



安全衛生或工安防護意識日益攀升，市面上已有諸多 ppm 等級之空品感測模組產品，而近年來因應空氣品質監測與研究需求，ppb 等級之空品感測模組亦陸續開發出來。載具進行空污監測技術開發時，即可依據空品檢測模組之產品規格，如檢測項目、偵測範圍、工作溫度感測範圍、工作濕度感測範圍、準確精度、感應作業時間等參數條件，選擇適切之設備儀器。空氣品質感測模組相關規格資訊如表 4-6 所示。於採樣裝置規劃部分，主要是在採集氣體後，攜帶回實驗室使用精密儀器分析。現行的氣體採樣，包括使用吸附劑採樣管、採氣袋、不銹鋼採樣筒及固相微萃取等採樣技術。吸附劑採樣管主要是以定流量的空氣採樣泵收集至吸附劑之採樣管中，再將採樣管置於熱脫附裝置內，脫附的樣品經氣相層析儀分離，再以電子捕捉偵測器進行測定分析。使用氣體採樣袋方式則能夠提供較為簡便的氣體與蒸氣收集。採氣袋採集空氣通常以短期間為原則，用以檢視空氣中尖峰曝露濃度，然氣體採樣袋則有無法重複使用之問題，如採集苯乙烯、乙苯等會因吸收而減損，也無法沖滌乾淨。不銹鋼採樣筒則是將已先完成真空抽取作業的不銹鋼採樣筒，以瞬間吸入或固定流量採集方式收集空氣，再透過降溫捕集濃縮一定量的空氣樣品經熱脫附方式注入氣相層析質譜儀中測定樣品。

表 4-4 空氣品質感測模組

空品感測種類	模組示意圖例		相 關 規 格 參 數	
二氧化碳 (IRC-A1)			最大功率要求：5 VDC,60mA max 最小功率要求：2 VDC,20mA max 驅動頻率：1.5~3 Hz 響應時間：<40 秒 工作溫度範圍：-20~+55°C（直線補償-10~40°C） 儲存溫度範圍：-40~+75°C 濕度範圍：0~95%Rh	
	範圍(量測類型)	準確度(%FS)	零解析度	全規模解析度
	0~5000ppm (IAQ)	1	1ppm ± 10ppm	15 ± 50ppm
	0~5% vol (Safety)	1.5	1ppm ± 10ppm	100 ± 500ppm
	0~20%vol (Combustion)	2.5	1ppm ± 10ppm	500 ± 2500ppm
	0~100% vol (Process Control)	4	1ppm ± 10ppm	0.5% vol ± 5000ppm



一氧化碳 (CO-AE)			工作範圍溫度：-20~50℃ 感測器電阻：200±50 kΩ 壓力範圍：80~120 kPa 濕度範圍：15~90% rh 負載電組：10~47Ω 重量：<6g				
	靈敏度	響應時間	零電流	解析度	範圍	線性	過載限制
	10~25 ppm	<50s (0~2,000ppm)	<± 20ppm (in air)	<5 ppm	10,000 ppm	<0~500 ppm	100,000 ppm
二氧化硫 (SO2-AE)			工作範圍溫度：-30~50℃ 感測器電阻：200±50 kΩ 壓力範圍：80~120 kPa 濕度範圍：15~90% rh 負載電組：10~47Ω 重量：<6g				
	靈敏度	響應時間	零電流	解析度	範圍	線性	過載限制
	50~80 nA/ppm	<33s (0~400ppm)	<± 5ppm (in air)	<1.5 ppm	2,000 ppm	± 20 ppm	10,000 ppm
臭氧感測器 (OX-A431)			溫度範圍：-30~40℃ 壓力範圍：80~120kPa 濕度範圍：15~85% rh				
	靈敏度	響應時間	零電流	解析度	範圍	線性	過載限制
	-200~ -650 nA/ppm	<80s (0~1ppm)	± 70 nA (in air at 20℃)	15 ± 2 ppm	20 ppm	<± 0.5 ppm	50 ppm
電化學 VOC (VOC-A4)			工作範圍溫度：-30~50℃ 壓力範圍：80~120 kPa 濕度範圍：15~90% rh 負載電組：33~100Ω 重量：<6g				
	靈敏度	響應時間	零電流	解析度	範圍	線性	過載限制
	230~410 nA/ppm	<30s (0~2ppm)	± 200 nA (in air at 20℃)	20 ± 2	190 ppm	10 ± 1.5 ppm	1,000 ppm

PID 感測器 (PID-AH2)			工作電壓：3.2~3.6VDC(理想電壓) 3.2~10VDC(用板載穩壓器) 輸出電壓：偏移電壓 46~60 mV 溫度範圍：-40~+55℃ 相對濕度範圍(無凝結)：0~95% 濕度敏感性(操作期間)：0~75% rh 重量：<8g				
	靈敏度	響應時間	零電流	解析度	範圍	線性	過載限制
	>25 mV/ppm	<3s (擴散模 式)	X	X	40ppm	1ppb ~ 50ppm	X
PM 感測器 Particulate Matter (OPC-R2)			電壓範圍：4.8~5.2VDC 量測模式：110mA(typical) 待機模式：<5mA(typical) 接通瞬態(for 1ms)：<5,000mW 溫度範圍：-10~40℃ 濕度範圍：0~95% rh 重量：<30g				
	粒徑	抽樣間隔	總流速	取樣流速	最大粒子		
	0.35~12.4μm	2~30s	0.24 L/min	X	10,000 Particles/s		



## 第五章 結論與建議事項

本次研究主要是結合 AIS 系統船舶資訊建置無人載具進行海上 AIS 船舶追蹤監測技術之開發，其目標是希望於未來應用於航入我國國際商港區域範圍之海上船舶是否配合政府施行 IMO MEPC 防止船舶污染國際公約附錄六之防止船舶空氣污染規定，從而提供我國針對船舶低硫燃油使用情形之研究，進行改善策略或管理機制之研擬的參考依據。綜整前述相關成果，相關研究結論與建議分別詳述如下：

### 第一節 結論

- 一、在 AIS 船舶圖像資料平台與操作介面建置部分，研究嘗試以架設 AIS 接收站方式獲取即時性的 AIS 船舶資料，除可改善 AIS 資料延遲性問題外，亦能降低 AIS 資料數據量過大造成系統負擔之情形。所接收的 AIS 即時資料透過系統平台進行數據欄位解析、解碼、數據整理與格式轉換後，平台的圖像資料顯示介面即顯示出接收站範圍內之 AIS 船舶資訊，操作人員可直接透過操作介面的顯示資訊選取船舶進行目標追蹤。
- 二、此次在多船舶 AIS 目標自主追蹤演算法的開發，研究改善了載具進行船舶追蹤時可能陷入不斷追尋目標船舶歷史航點的迴圈問題。在前期研究的追蹤技術，由於海上目標船舶及載具皆處於動態行進狀況使目標位置不斷變化，若 AIS 資料處理過程產生延時或位置變化，即會造成前述載具追尋目標船舶歷史航點的情況。而此次多船舶 AIS 目標自主追蹤演算法，研究運用學習演算法對船舶 AIS 動態資料進行資訊分析，如 AIS 資料內所含的船舶航速、航向與經緯度座標等資訊，利用大量完成解碼的 AIS 資料經由資料特徵萃取找出資料特徵值求解出分類或回歸問題的決策函數，再透過學習演算法訓練模型能從大量的 AIS 資料中學習，從而預測船舶下一航行的經緯度座標，使載具可提前飛行至預測的經緯度座標。

- 三、在載具的空污監測及採樣裝置規劃設計部分，經由此次實海域測試作業執行結果，評估在載具進行船舶追蹤、排放空污監測及採樣作業的規劃上，應以無線通訊控制技術結合微型控制器進行載具掛載採樣裝置與空品感測模組可行設計，主要是考量透過載具飛行追蹤船舶尾部煙流時，空品感測模組能夠使地面站的操作人員獲取即時的空氣品質監測資訊，而操作人員藉由平台顯示介面知悉當前載具追蹤目標船舶的空氣污染排放數據變化後，亦可評估是否啟動採樣裝置進行氣體採樣。
- 四、為了追求更為潔淨的海運環境，船舶污染排放規範已愈加嚴苛，船舶氣體排放污染更是諸多沿海國家越來越重視的議題。我國現行船舶空氣污染排放管制與稽查主要權責機關為交通部航港局，為提升港區空氣品質，自 2019 年 1 月 1 日起亦已開始要求外籍船舶及航駛國際航線之國籍船舶，進入我國國際商港、工業港及其錨泊區及其離岸設施等，應採用含硫量 0.5% 以下低硫燃油或具有同等減排效應之裝置或替代燃料案檢查。船運公司因應低硫燃油政策的主要方式包括加裝洗滌器、脫硫塔等，然在執行稽查時，稽查人員仍需透過登船進行文件稽查，又或是透過船舶航速等資訊，判斷船舶進港是否切換燃油之減速查核方式。
- 五、現階段交通部航港局之港口國管制檢查人員(PSCO)人力嚴重不足的情況下，評估藉由無線通訊、控制技術結合無人載具方式能夠彌補 PSCO 在人員或稽查作業調度的輔助。在無人載具主動式追蹤的快速、精準、高效率特性，可依據空氣污染排放物的監測需求，有針對性的搭載不同的空氣品質感測模組，協助港區管理單位高效完成各項例行事務與特定空污排放偵測。除可有效減輕現階段 PSCO 人力不足與工時過長等問題外，亦能藉空品感測資訊、採樣數據提出更為可靠與精確的資料依據。

## 第二節 建議

依據此次技術開發與實海域作業測試結果，為求未來研究成果得以具更佳之應用

成效與效益，建議下述幾點說明：

- 一、目前於 AIS 資料探勘與預處理主要是將獲取的 AIS 數據進行解碼，並針對 AIS 資料庫中重複性的 AIS 資料、因 AIS 收發訊號受干擾或資料接收完整度受影響導致欄位數據錯誤資料及不完整的資料進行剔除。未來在排程除錯的檢測，除偵測數據重複性、是否為船舶 AIS 資料及欄位格式是否符合 ITU 制定格式規範外，後續則可再加入邏輯演算判斷，如船舶航向與航速對經緯度座標變化是否合理等，藉以進一步 AIS 資料庫的數據品質。
- 二、目前系統平台在進行 AIS 目標船舶追蹤時主要是根據預測經緯度座標點做為載具飛行目標依據，後續則可加入海氣象資訊，透過風向與風力資訊結合 AIS 船舶航向及航速數據，判斷船舶煙流排放方位，使載具掛載空污監測與採樣裝置設備可有效飛行在船舶煙流的排放範圍進行作業，再藉由無線傳輸技術將感測資訊即時回傳至地面站，使其可立即知悉船舶空氣污染排放情況。
- 三、目前在實現船舶煙流排放偵測與採樣的動作仍需透過載具回傳即時空品感測資訊來判斷是否進入煙流排放範圍。根據報告書前述國際商港 UAV 應用與技術發展的資料文獻顯示，包括歐洲海事安全局、中國大陸上海海事大學與海事局皆有結合光學技術、紅外線顯像技術進行船舶排放空品檢測的應用。除了前述建議後續可在系統平台進行預測時加入海氣象資訊外，亦可評估掛載熱顯像模組，結合影像識別處理分析的方式，提供操作人員進行船舶煙流排放的追蹤。
- 四、由於船舶的水上行動業務識別碼(MMSI)識別具備唯一性，因此未來亦可建請交通部航港局提供過往未符合含硫排放標準之船舶資訊，並依據其提供的船舶資訊進行系統 AIS 資料庫警示名單之建立。使後續有效協助 PSCO 在船舶進港進行稽查之目標船舶選定能快速篩選稽查船舶，增加船舶含硫排放標準稽核準確度。

## 參考文獻

- [1] AIS MESSAGES, U.S. COAST GUARD NAVIGATION CENTER (<http://www.navcen.uscg.gov/>)
- [2] C. A. Kontovas, “Integration of air quality and climate change policies in shipping : The case of sulphur emissions regulation.” *Marine Policy*, vol. 113, Mar. 2020.
- [3] D. Nguyen, R. Vadaine, G. Hajduch, R. Garelo and R. Fablet, “A Multi-task Deep Learning Architecture for Maritime Surveillance using AIS Data Streams,” *The 5<sup>TH</sup> IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics (IEEE DSAA 2018)*, 2018.
- [4] G. E. Hinton, A. Krizhevsky and I. Sutskever, “ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks.” *International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2012)*, pp. 84-90, 2012.
- [5] G. Langella, P. Iodice, A. Amoresano, and A. Senatore, “Ship engines and air pollutants: emission during fuel change-over and dispersion over coastal areas”. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, vol. 7, pp. 307-320. Jun. 2016.
- [6] H. Bendea, P. Boccardo, S. Dequal, F. G. Tonolo, D. Marenchion, and M. Piras, “Low cost UAV for post-disaster assessment.” *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 37, pp. 1373-1380, Jan. 2008.
- [7] Intergovernmental Panel on Climate Change, “AR5 Synthesis Report : Climate Change 2014.” Oct. 2014.
- [8] J. P. Jalkanen, L. Johansson, J. Kukkonen, A. Brink, J. Kalli, and T. Stipa, “Extension of an assessment model of ship traffic exhaust emissions for particulate matter and carbon monoxide.” *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 12 (5), pp. 2641-2659, Mar. 2012.
- [9] J. E. Jonson, M. Gauss, M. Schulz, J. P. Jalkanen, and H. Fagerli, “Effects of global ship emissions on European air pollution levels”. *Atmospheric Chemistry and Physics* 20, 11399-11422. 2020.
- [10] K. Leelasakultum, N. Mölders, H. N. Tran, and A. G. Grell, “Potential Impacts of the Introduction of Low-Sulfur Fuel on PM 2.5 Concentrations at Breathing Level in a Subarctic City.” *Advances in Meteorology*. vol. 2012, Jun. 2012.
- [11] M. Sofiev, J. J. Winebrake, L. Johansson, E. W. Carr, M. Prank, J. Soares, J. Vira, R. Kouznetsov, J. P. Jalkanen, and J. J. Corbett, “Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate tradeoffs.” *Nature Communications*, vol. 9 (406), Feb. 2018.
- [12] M. S. James, J. Winbrake, L. Johansson, E. W. Carr, M. Prank, J. Soares, J. Vira, R. Kouznetsov, J. P. Jalkanen, and J. J. Corbett “Cleaner fuels for shops provide public

- health benefits with climate tradeoffs”. *Nature communications*. vol. 9 (406), DOI: 10.1038/s41467-017-02774-9. 2018.
- [13] R. Ivce, A. Zekic, and D. Mohovic “Comparison of CO<sub>2</sub> Emissions for Road and Sea Transport on the Specific Route.” *2018 International Symposium ELMAR*, pp. 19-22, Nov. 2018.
- [14] S. Mao, E. Tu, G. Zhang, L. Rachmawati, E. Rajabally, and G. B. Huang, “An Automatic Identification System (AIS) Database for Maritime Trajectory Prediction and Data Mining,” *Extreme Learning Machines 2016 (ELM-2016)*, pp. 241-257, 2016.
- [15] Scripps Institution of Oceanography “Carbon Dioxide Levels Hit Record Peak in May.” *Keeling Curve History*, Jun 2019.
- [16] Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band, Recommendation ITU-R M.1371-5, 2014.
- [17] Technical characteristics for a VHF data exchange system in the VHF maritime mobile band, Recommendation ITU-R M.2092-0, 2015.
- [18] The Daily Star, 2015. China presses on with new silk road plan.
- [19] The Global Maritime Forum, “The Annual Review of Maritime Transport.” *Containerisation International*, Oct. 2018.
- [20] T. K. Liu, Y. S. Chen, and Y. T. Chen, “Utilization of vessel automatic identification system (AIS) to estimate the emission of air pollutant from merchant vessels in the port of Kaohsiung”. *Aerosol and Air Quality Research*, 19:2341-2354, 2019.
- [21] V. A. Zhukov, I. I. Kostylev, A. A. Ivanchenko, and O. K. Bezyukov, “Prospects of Use Gas Engines on Sea and River Vessels.” *2018 IEEE International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS)*, pp. 287-289, Nov. 2018.
- [22] W. M. Wijaya and Y. Nakamura, “Predicting ShIP Behavior Navigating Through Heavily Trafficked Fairways by Analyzing AIS Data on Apache HBase,” *2013 First International Symposium on Computing and Networking*, 2013.
- [23] W. Tang, R. Dickie, D. Roman, V. Robu, and D. Flynn “Optimisation of hybrid energy systems for maritime vessels.” *The Journal of Engineering*, vol. 2019 (17), pp. 4516-4521, June 2019.
- [24] Y. S. Kang, B. J. Park, A. Cho, C. S. Yoo, and S. O. Koo, “Flight test of flight control performance for airplane mode of Smart UAV.” *2012 12<sup>th</sup> International Conference on Control, Automation and Systems*, pp. 1738-1741, Dec. 2012.
- [25] Y. Bengio, A. Courville and P. Vincent, “Representation Learning: A Review and New Perspectives.” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 35(8), pp.1798–1828, Oct. 2013.
- [26] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, “Deep learning.” *Nature*, vol. 521 (7553), pp. 436–



444, 2015.

- [27] 交通部航港局－海事中心 (<https://transport-curation.nat.gov.tw/portAuthority/ais.html>)
- [28] 行政院環境保護署，「全國空氣污染物排放清冊(TEDS10)」，2016。
- [29] 邱永芳、張淑淨、張富東、蔣敏玲，「智慧化海運系統建立之研究」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，2012。
- [30] 邱偉翔，「古蹟建物 3D 建模之研究」，正修科技大學營建工程研究所碩士論文，2014。
- [31] 海洋事務推動委員會，「海洋政策白皮書」行政院，2006。
- [32] 陳欣伶，「海運以天然氣為能源選項之可行性探討－環境與經濟分析」，東吳大學會計學系碩士論文，2014。
- [33] 曾子峻，「多軸飛行器於橋樑檢測之應用研究」，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文，2010。
- [34] 華健、吳怡萱，「以 LNG 作為船舶燃料的趨勢」，船舶科技，第 40 期，2012。
- [35] 黃茂信、邱永芳、陳子健、張立農，「臺灣海域船舶自動識別系統(AIS)之研究」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，2016。
- [36] 黃曉暉、張凱欣，「2017 年香港排放清單報告」，香港環境保護署，2017。
- [37] 詩旻汶，「自動化無人飛行載具輔助擷取橋梁影像之研究」，國立中央大學營建管理研究所碩士論文，2015。
- [38] 蔡瑞舫、邱永芳、張富東、張景森，「臺灣海域船舶自動識別系統(AIS)整體規劃」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，2012。

## 附件一 實海域測試作業申請規範及相關文件


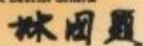
### ➤ 飛行計畫及遙控無人機申請單

#### 臺灣港務股份有限公司高雄港務分公司 高雄 港區操作使用遙控無人機申請單


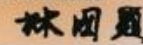
作業時間	110年10月04日08時起 至 110年10月31日17時 (下午17時至次日08時不進行飛航作業)		申請單位戳章
作業類別	<input checked="" type="checkbox"/> 一般作業任務。 <input type="checkbox"/> 緊急應變救助或演練或其他必要之蒐證任務等。		已詳閱並確實遵守「臺灣港務股份有限公司轄管港區範圍遙控無人機使用管理須知」，願負一切損害賠償及法律責任。  
作業案由及空拍資料使用目的	本校110年度執行國家海洋研究院 - 「船舶多目標追蹤技術開發委託專業服務案(NAMR-110-054)」計畫案，擬於紅毛港文化園區及高雄港二港口範圍進行無人載具飛航作業。		
申請單位	名稱：國立高雄科技大學 海洋前瞻科技產業創新研發中心 地址：高雄市楠梓區海專路142號 申請人：翁健二 連絡電話：(07)361-7141 #23329 0975-751646		
作業使用人	姓名：翁健二	行動電話：0975-751646	
	姓名：王威淳	行動電話：0909-011006	
作業觀察人	姓名：黃冠銘	行動電話：0975-258439	
會同單位	單位名稱：	會同人員姓名：	電話：
作業區域說明(含飛行路線、操作位置)，請以圖示方式說明：			
1. 作業使用人及觀察人皆具備民航局頒發之G1級別專業操作證 2. 預計飛行高度60公尺以下，並遠離船舶及塔台等結構物150公尺外 3. 操作位置：擬以紅毛港文化園區之觀海平台做為操作位置及載具起降地點			
			



作業使用人：國立高雄科技大學 海洋前瞻科技產業創新研發中心 翁健二教授  
具備證照：交通部民航局 G1級別專業操作證

I. 中華民國 REPUBLIC OF CHINA		
VIII. 交通部民用航空局 CIVIL AERONAUTICS ADMINISTRATION, MOTC		
II. 類別 Title of Licence	遙控無人機 專業操作證	
III. 證號 Number	E121347049	
IV. 姓名 Name of Holder	翁健二	IX. 發證日 Date of Issue 13 Jul 2020
IVa. 出生日期 Date of Birth	26 Jan 1972	
VI. 國籍 Nationality	中華民國 TAIWAN(ROC)	
X. 局長 Director General 		IX. 屆期日 Date of Expiry 12 Jul 2022

作業觀察人：國立高雄科技大學 海洋前瞻科技產業創新研發中心 王威淳研究助理  
具備證照：交通部民航局 G1級別專業操作證

I. 中華民國 REPUBLIC OF CHINA		
VIII. 交通部民用航空局 CIVIL AERONAUTICS ADMINISTRATION, MOTC		
II. 類別 Title of Licence	遙控無人機 專業操作證	
III. 證號 Number	A125508320	
IV. 姓名 Name of Holder	王威淳	IX. 發證日 Date of Issue 07 Oct 2020
IVa. 出生日期 Date of Birth	08 Oct 1990	
VI. 國籍 Nationality	中華民國 TAIWAN(ROC)	
X. 局長 Director General 		IX. 屆期日 Date of Expiry 06 Oct 2022

作業觀察人：國立高雄科技大學 海洋前瞻科技產業創新研發中心 黃冠銘研究助理  
具備證照：交通部民航局 G1級別專業操作證

I. 中華民國 REPUBLIC OF CHINA		
VIII. 交通部民用航空局 CIVIL AERONAUTICS ADMINISTRATION, MOTC		
II. 類別 Title of Licence	遙控無人機 專業操作證	
III. 證號 Number	Q123452524	
IV. 姓名 Name of Holder	黃冠銘 GUAN MING HUANG	IX. 發證日 Date of Issue 10 Oct 2020
IVa. 出生日期 Date of Birth	01 Sep 1992	
VI. 國籍 Nationality	中華民國 TAIWAN(ROC)	
X. 局長 Director General 		IX. 屆期日 Date of Expiry 09 Oct 2022

➤ 高雄市政府文化局同意函文

檔 號：  
保存年限：

高雄市政府文化局 函

地址：80252高雄市苓雅區五福一路67號  
承辦單位：文創發展中心  
承辦人：葉正興  
電話：(07)2225136 分機8562  
電子信箱：hsing@mail.khcc.gov.tw

受文者：國立高雄科技大學

發文日期：中華民國110年9月30日  
發文字號：高市文創字第11031731600號  
速別：普通件  
密等及解密條件或保密期限：  
附件：

主旨：同意貴校110年度執行國家海洋研究院-「船舶多目標追蹤技術開發委託專業服務計畫案」申請紅毛港文化園區遙控無人機飛航乙案，請查照。

說明：

- 一、依據貴校110年9月29日高科大事字第1107900609號函辦理。
- 二、為配合公務作業，同意貴校至紅毛港文化園區遙控無人機飛航，拍攝前3日請以電話通知本局。操作遙控機時請遵守交通部「遙控無人機管理規則」、「民用航空法」及臺灣港務股份有限公司「轄管港區範圍無人機使用管理規則」等相關規定，注意拍攝安全，並勿影響紅毛港文化園區入園遊客動線。

正本：國立高雄科技大學

副本：電 2021/09/30 文  
交 17:56:35 章

➤ 臺灣港務股份有限公司高雄港務分公司同意函文

檔 號：  
保存年限：

臺灣港務股份有限公司高雄港務分公司 函

地址：80443高雄市鼓山區臨海二路62號  
聯絡人：吳泰昀  
聯絡電話：07-5622107  
傳真：07-5617108  
電子信箱：wutyl519@twport.com.tw

受文者：國立高雄科技大學

發文日期：中華民國110年10月6日

發文字號：高港港行字第1103059812號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：(315860300M1103059812000-1.PDF、315860300M1103059812000-2.pdf)

主旨：有關貴校申請高雄港區操作使用遙控無人機一案，復如說明，請查照。

說明：

- 一、復貴校110年10月1日高科大事字第1107900617號函暨110年10月5日高科大事字第1101015349號函。
- 二、貴校為執行國家海洋研究院－「船舶多目標追蹤技術開發委託專業服務案（NAMR-110-054）」計畫案，向本分公司於高雄港紅毛港文化園區及二港口航道操作使用遙控無人機，本分公司原則同意貴校自文到日起至110年10月31日止每日上午8時至下午5時執行上揭作業。
- 三、為維護港區船舶及設施安全，請於操作使用遙控無人機時遵守下列事項：
  - (一)請依本公司所訂定「轄管港區範圍無人機使用管理須知」規定事項辦理空拍作業，並注意拍攝安全。
  - (二)遙控無人機飛行時，應遠離人群、樹木、電線、建築物、船舶、石化儲槽及港區設施，並避免接近高大建築

國立高雄科技大學



第 1 頁，共 3 頁



物以及其他可能阻擋視線之物體後面。

- (三)操作遙控無人機時務必遵守交通部「遙控無人機管理規則」及「民用航空法」等相關規定，並請依上揭規定逕向交通部民用航空局辦理相關申請事宜。

四、操作使用遙控無人機時，應避免下列禁止事項：

- (一)禁飛氣象：風速高於該遙控無人機之使用限制或強風(風速10.8m/s含以上)、下雨、閃電、有霧(或能見度小於1公里)等天氣(依鄰近氣象站之觀測為原則)。
- (二)禁飛時間：下午5時0分至次日上午8時0分。
- (三)未經申請操作使用遙控無人機。
- (四)未經申請於作業機具、船、艦、危險物品儲槽、港區建築物上方操作使用無人機。
- (五)操作使用遙控無人機有競速行為。
- (六)操作使用遙控無人機違反民用航空法及相關規定。

五、依據交通部答覆立法院第10屆第2會期交通委員會第11次全體委員會議口頭質詢資料，基於維護港區關鍵基礎設施及營運所需，於港區使用遙控無人機業務時，請避免使用中國製遙控無人機。

六、使用人(或申請人)於接獲本分公司同意函後，應於飛行前再次以電話(上班時間：07-5622107、下班時間：07-5622127)、電子郵件或傳真方式通知本分公司承辦人員，以確認遙控無人機日期、時間及詳細地點，並於拍攝期間備妥本同意函，俾隨時接受高雄港務警察總隊員警查驗。

七、為避免影響「110年國慶煙火在高雄」活動進行，請勿於活動是日(110年10月10日)於高雄港區操作使用遙控無人



機。

正本：國立高雄科技大學

副本：內政部警政署高雄港務警察總隊、交通部航港局南部航務中心、內政部消防署高雄港務消防隊、高雄市政府文化局、高雄港引水人辦事處、本分公司職業安全衛生處、棧埠事業處、港務處(監控中心、航管中心)(均含附件)

2021/10/06  
14:25:19  
交 文  
換 章

➤ 臺灣港務股份有限公司轄管港區範圍遙控無人機使用管理須知

**臺灣港務股份有限公司**  
**轄管港區範圍遙控無人機使用管理須知**

臺灣港務股份有限公司 106 年 8 月 31 日港總勞字第 1060152423 號函訂定  
臺灣港務股份有限公司 107 年 11 月 15 日港總勞字第 1070152453 號函修訂

- 一、為利臺灣港務股份公司轄下各港務分公司（以下簡稱港務分公司）管理港區範圍內遙控無人機申請使用及安全管理事項，特訂定本須知。
- 二、港區範圍內可能涉及公務機敏設施或港區業者商業機密，為維護港區安全，原則不開放民眾或業者於商港區域內操作使用遙控無人機，如有特殊業務需求，須專案向該商港之轄管分公司提出申請，並經審查同意後方得操作使用遙控無人機。如未經同意於商港區域操作使用遙控無人機者，依商港法相關規定辦理。
- 三、港區操作使用遙控無人機申請規定如下：
- （一）本公司內部單位或公務機關，基於公務需要需於特定港區操作使用遙控無人機時，應先填具申請單(如附表)，向該港口之轄管分公司提出申請，經審查同意始得操作使用遙控無人機。
- （二）使用人(或申請人)於接獲轄管分公司同意通知後，應於飛行前再次以電話、電子郵件或傳真方式通知轄管分公司之管理單位，確認操作使用遙控無人機日期、時間及詳細地點。操作使用遙控無人機期間，作業人員應隨身攜帶同意文件以備查驗並保持與分公司可聯繫狀態。
- （三）申請飛行作業路線如有涵蓋港區單位或承租業者之承租作業區，應事先協調港區單位或業者取得同意，並於申請時一併向分公司提出證明。飛行作業不得影響港區現場作業，為維護作業安全，港區單位或業者得派員會同執行，必要時本公司得隨時中止之。
- （四）操作使用遙控無人機期間，作業人員應著反光背心，應配置觀察人 1 人在旁輔佐及觀察四周情況，並隨時協助操作人現場安全維護作業。
- （五）遙控無人機飛行時，應遠離人群、樹木、電線、建築物、船舶、石化儲槽及港區設施，並避免接近高大建築物以及其他可能阻擋視線之物體後面。另飛行高度應不超過該遙控無人機之限飛高度及民用航空法等相關法令規定，以避免意外事件發生。
- （六）於安全前提下，除緊急應變救助或演練或其他公務蒐證任務外，操作使用遙控無人機應有下列禁止事項：
1. 禁飛氣象：風速高於該遙控無人機之使用限制或強風(風速 10.8m/s 含以上)、下雨、閃電、有霧(或能見度小於 1 公里)等天氣(依鄰近氣象站之觀測為原則)。

2. 禁飛時間：下午 17 時 0 分至次日上午 8 時 0 分。
  3. 未經申請操作使用遙控無人機。
  4. 未經申請於作業機具、船、艦、危險物品儲槽、港區建築物上方操作使用遙控無人機。  
(如附圖)
  5. 操作使用遙控無人機有競逐行為。
  6. 操作使用遙控無人機違反民用航空法及相關法令規定。
- (七)遙控無人機空拍影像應依刑法、營業秘密法、個人資料保護法等相關法令規定處理。
- (八)遙控無人機空拍影像如有外洩作為營利、徵信或其他不正當使用者，本公司將依法追究相關責任。
- (九)使用人、操作人或觀察人如有違反本管理須知者，本公司將相關事證移由交通部航港局依法裁處，並得於一年內得不再受理申請。
- 四、因操作使用遙控無人機致人員受傷或港區設施損壞時，應由遙控無人機使用(或申請)人或單位自負相關責任與賠償。
- 五、如有涉及民用航空法等相關法令規定，請依其規定辦理，相關規定可參閱交通部民用航空局網站公告規定(網址 <http://www.caa.gov.tw/big5/index.asp> 網站首頁/航空站及飛行場/機場四周禁止施放有礙飛航安全物體(含空拍機及遙控無人機)網頁)，公告高雄、安平、澎湖港及花蓮港等區域以該地區機場標高起 60 公尺以上高度，禁止施放有礙飛航安全物體。



## 附件二 船舶空氣污染排放規範與相關推估

### ➤ 污染排放因數

採用 San Pedro Bay Ports Emissions Inventory Methodology Report 空氣污染排放量推估公式，此為美國加利福尼亞州的空氣資源委員會 (California Air Resources Board, CARB)、南海岸空氣質量管理區 (the South Coast Air Quality Management District, AQMD)、洛杉磯港、長灘港及美國環境保護署 (U.S. Environmental Protection Agency, USEPA) 共同制定的年度空氣排放估算方法。並依據空氣排放規範，定期更新詳細的推估方法，該推估方法亦被運用在國際期刊推估空氣污染的排放參考。

此公式適用於推估船舶上主機、發電機及鍋爐的排放量。公式需要參數包括：

- (1) 所消耗的電量 (kW-hr)：船舶主機、發電機運行時每小時所消耗的能量。
- (2) 燃料油空氣污染排放係數(Emission Factor, EF) 取決於引擎的類型、出廠年份、IMO 期別和燃料油的種類。
- (3) 燃料油校正係數 (Fuel Correction Factors, FCF) ，根據 EF 的標準燃料和所使用燃料進行調整得到的係數。
- (4) 減排技術的控制因素 (Control Factor, CF) ，航行的船舶無減排 (Emission Reduction) 設備，所以以 1 為係數，

其推估公式如下：

$$E_i (\text{emission}) = \text{Energy}_i \times EF \times FCF \times CF$$

$$E_i (\text{emissions}) = \text{船舶發電機的每小時空氣污染排放量 (g)}$$

$$\text{Energy}_i = \text{船舶發電機每小時的用電量 (kW-hr)}$$

$$EF (\text{Emission factor}) = \text{燃料油的排放係數 (g/kW-hr)}$$

$$FCF (\text{Fuel correction factors}) = \text{燃料油校正係數}$$

$$CF (\text{Control factors}) = \text{減排技術的控制因素}$$

➤ 燃油排放係數

燃油空氣污染排放係數取決於引擎類型、出廠年份、IMO 期別和燃油種類。

燃油空氣污染排放係數表

燃油別	引擎類別	IMO 期別	出廠年	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	DPM	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	HC
硫含量 2.70% 重油 (HFO)	Medium speed auxiliary	Tier 0	≤ 1999	1.5	1.2	1.5	14.7	12.3	1.1	0.4
	Medium speed auxiliary	Tier I	2000 - 2011	1.5	1.2	1.5	13	12.3	1.1	0.4
	Medium speed auxiliary	Tier II	2011 - 2016	1.5	1.2	1.5	11.2	12.3	1.1	0.4
	Medium speed auxiliary	Tier III	≥ 2016	1.5	1.2	1.5	2.8	12.3	1.1	0.4
	High speed auxiliary	Tier 0	≤ 1999	1.5	1.2	1.5	11.6	12.3	0.9	0.4
	High speed auxiliary	Tier I	2000 - 2011	1.5	1.2	1.5	10.4	12.3	0.9	0.4
	High speed auxiliary	Tier II	2011 - 2016	1.5	1.2	1.5	8.2	12.3	0.9	0.4
	High speed auxiliary	Tier III	≥ 2016	1.5	1.2	1.5	2.1	12.3	0.9	0.4
硫含量 0.1%海 運柴油 (MGO)	Medium speed auxiliary	Tier 0	≤ 1999	0.255	0.24	0.255	13.82	0.455	1.4	0.6
	Medium speed auxiliary	Tier I	2000 - 2011	0.255	0.24	0.255	12.22	0.455	1.4	0.6
	Medium speed auxiliary	Tier II	2011 - 2016	0.255	0.24	0.255	10.53	0.455	1.4	0.6
	Medium speed auxiliary	Tier III		0.255	0.24	0.255	2.63	0.455	1.4	0.6
	High speed auxiliary	Tier 0	≤ 1999	0.255	0.24	0.255	10.9	0.455	1.1	0.5
	High speed auxiliary	Tier I	2000 - 2011	0.255	0.24	0.255	9.78	0.455	1.1	0.5
	High speed auxiliary	Tier II	2011 - 2016	0.255	0.24	0.255	7.71	0.455	1.1	0.5
	High speed auxiliary	Tier III	≥ 2016	0.255	0.24	0.255	1.97	0.455	1.1	0.5

輔助發動機的污染物排放因數，單位：g / kW-hr

資料來源：POLA, 2019

➤ 燃油校正係數

引擎燃油不同時，污染排放量會隨之變化。主要是油中含硫量的差異，會造成SO<sub>2</sub>的排放量不同，而SO<sub>2</sub>又是二次粒狀物的主要生成來源，因此連帶會影響PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>及DPM(柴油引擎粒狀物)的生成量。

使用低硫燃油時，需加乘燃油校正係數。報告附件二之燃油空氣污染排放係數表及燃油校正係數表是以2.7%的重油為基礎的校正係數，若計算時採用燃燒重油的排放係數，切換為柴油時直接乘上表中相對應的燃油校正係數即可。若計算時採用燃燒柴油的排放係數，則需在進行硫含量校正時乘上該硫含量的燃油校正係數外，還要除以0.5%時的校正係數。我國各港於2019年01月01日起即全面限制進港商船需切換為硫含量0.5%以下燃油，因此推估時，皆需以硫含量0.5%的校正係數校正。

燃油校正係數表

標準燃油(S%)	實際燃油(S%)	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	DPM	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	HC	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>
HFO(2.7%)	HFO(2.7%)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HFO(2.7%)	MGO(0.5%)	0.25	0.29	0.25	0.94	0.185	1	1	0.95	0.94	1
HFO(2.7%)	MGO(0.1%)	0.17	0.2	0.17	0.94	0.037	1	1	0.95	0.94	1

資料來源：POLA, 2019

### 附件三 工作計畫書審查會議紀錄及意見回覆表

#### ➤ 工作計畫書審查會議紀錄

#### 工作計畫書審查會議紀錄

採購案編號：NAMR110054

採購案標的名稱：船舶多目標追蹤技術開發委託專業服務案

時間：110 年 03 月 31 日上午 10:00

地點：國家海洋研究院 海洋產業與工程研究中心會議室

主席：廖建明

出席者：李傳宗

廠商：國立高雄科技大學 翁健二、楊烈、黃冠銘

記錄：楊文榮

#### 會議內容：

##### 一、會議討論及建議事項：

1. 針對 UAV 船舶目標追蹤技術，利用目標船舶歷史航跡預測下一步航點，請補充說明該預測模式及驗證方法。
2. 請研究團隊補充說明 UAV 自動執行任務的流程與規劃。
3. 請研究團隊增加 AIS 品管作業頻率及品管方法說明。
4. 操作介面圖層介面設計建議事項，如設定內容增加紀錄時間與現在時間。

二、AIS 資料來源必須確認穩定提供，本中心將與海科中心協調。

三、審查結果：原則通過，建議事項請研究團隊併入期中報告說明。

➤ 工作計畫書審查意見回覆表

會議討論及建議事項	意見回覆	章節	頁碼
針對 UAV 船舶目標追蹤技術，利用目標船舶歷史軌跡預測下一步航點，請補充說明該預測模式及驗證方式。	謝謝委員指導，已依循委員建議補充船舶軌跡預測模式建立及模式驗證結果。	第四章 第二節	pp.63 pp.64 pp.69
請研究團隊補充說明 UAV 自動執行任務的流程與規劃。	謝謝委員指導，已依循委員建議補充 UAV、系統平台操作程序及運作流程說明。	第三章 第一節	pp.43 pp.44
請研究團隊增加 AIS 品管作業頻率及品管方法說明。	謝謝委員指導，目前在 AIS 資料品管部分，主要是接收 AIS 資料後即進行欄位數據的解析、解碼，並透過資料排程演算方式檢測是否存在重複性、格式不符及異常數據欄位。完成處理後再更新至系統平台的 AIS 資料庫	第四章 第一節	pp.55 ~ pp.62
建議操作介面之圖層介面設計，可增加紀錄時間與當前時間等資訊。	謝謝委員指導，已依循委員建議於系統平台介面增加時間資訊顯示	--	--
本中心將與海科中心協調，確認 AIS 資料來源可穩定提供團隊進行相關研究作業。	謝謝委員協助。	--	--

## 附件四 期中報告書審查會議紀錄及意見回覆表

### ➤ 期中報告書審查會議紀錄

#### 國家海洋研究院期中報告書審查會議紀錄

一、採購案編號：NAMR110054

二、採購案標的名稱：船舶多目標追蹤技術開發委託專業服務案

三、時間：110年06月22日(星期二)上午10時

四、地點：國家海洋研究院(高雄市前鎮區成功二路25號11樓)

五、出席單位及人員：(線上視訊)

國家海洋研究院 廖建明 主任

楊文榮 助理研究員

國立屏東科技大學 謝連德 教授

國立高雄科技大學 翁健二 教授

楊烈 研究助理

黃冠銘 研究助理

謝茗徨 研究助理

六、記錄：楊文榮助理研究員

#### 審查委員審查意見

##### (一) 謝連德 委員

1. 無人載具追蹤的過程中，若機體發生異常是否有應變機制或處理流程。未來在同時使用多台無人載具進行追蹤時，是否可以考慮規劃最佳飛行路線？
2. 操作介面的功能開發有無預期能提供那些服務或輸出，供國海院進行成果展現。
3. 資料有效性的比例是否符合計畫當初的期望，如何進行資料驗證。目前的資料處理方式是否已符合降低系統作業負擔需求，若未來資料量提升或多機執行時，是否會有系統衝突情況發生。
4. AIS Message 封包在解析的過程中，其欄位及資料驗證的程序執行幾次？對於不同的資料總類，如A類、B類或中繼回傳，資料處理上是否有差別？
5. 本計畫中超過40節的航數就不列入，是否會造成 Missing Data 的情形。因部分的航數過大，可能為特殊狀況或突發狀況而做掩飾，有無需要瞭解該情形的必要或

系統僅進行常態性的動態理解。

6. 期末報告中宜將實際操作過程以影片方式呈現。

## (二) 廖建明 主任

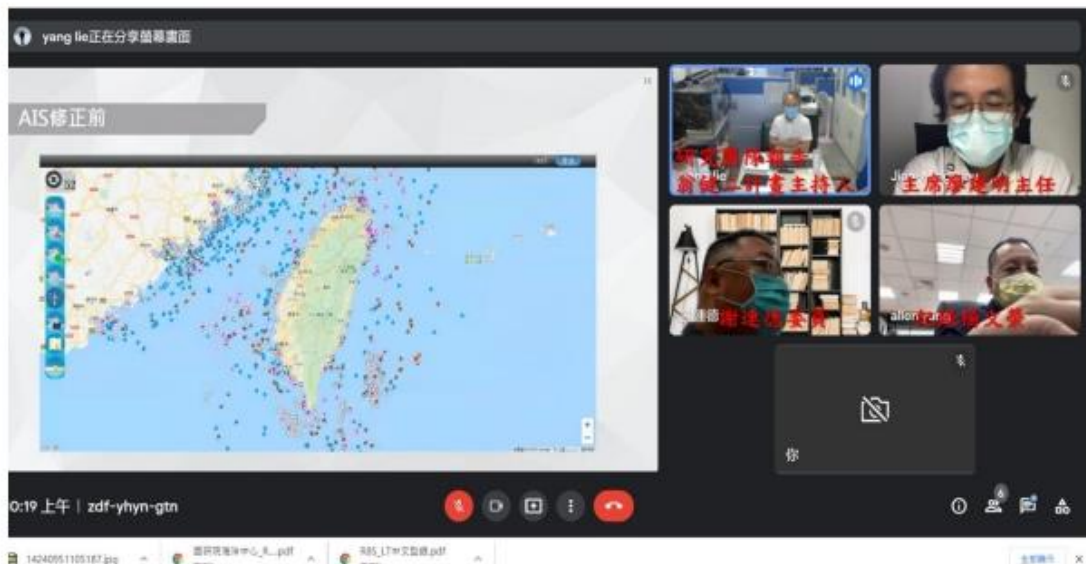
1. AIS 圖台的功能是否有查詢功能並且增加可疑或高風險名單，以利進行稽查。
2. 期中報告書中資料不足的部分請於期末報告補充說明。
3. 研究團隊於後續實海域測試及技術驗證部分，請邀請國海院同仁參與。

## (三) 楊文榮 助理研究員

1. 建議補充說明 AIS 航跡預測及未來針對海域船舶異常或危險航行行為之分析的規劃。
2. 請研究團隊補充說明，針對本案所開發之軟體及圖台是否有可能應用在市售的無人載具上或相容之機型，或以外掛方式整合。

**會議結論：期中報告書原則上同意，上列意見請於期末報告書回覆。**

(散會10:42)



進行線上會議審查截圖



➤ 期中報告書審查意見回覆表

委員意見		意見回覆	章節	頁碼
謝連德委員	無人載具追蹤的過程中，若機體發生異常是否有應變機制或處理流程。未來在同時使用多台無人載具進行追蹤時，是否可以考慮規劃最佳飛行路線？	謝謝委員指導，目前在安全應變機制之運作流程，主要是當無人載具進行飛行作業時，若發生訊號遺失及載具電壓過低之情形，載具即自動切換為自主返航模式，返回起飛點。未來若進行多機操作技術開發，將依循委員建議針對飛航演算法進行最佳化飛行路徑運算之相關開發與研究。	--	--
	操作介面的功能開發有無預期能提供那些服務或輸出，供國海院進行成果展現。	謝謝委員指導，依據實測結果來看目前已能有效針對 AIS 船舶進行目標追蹤，評估後續若再加以結合空污監測模組及採樣裝置，則可實際對海上船舶排放空氣污染物進行相關的採樣監測作業。此外在船舶 AIS 資料探勘與預處理成果亦能提供具正確欄位數據且符合格式的 AIS 資料。後續團隊將彙整實海飛行測試過程與各實驗階段結果，以影片方式做一相關研究成果展示。	--	--
	資料有效性的比例是否符合計畫當初的期望，如何進行資料驗證。目前的資料處理方式是否已符合降低系統作業負擔需求，若未來資料量提升或多機執行時，是否會有系統衝突情況發生。	謝謝委員指導，以實海域飛行測試結果評估，經過排程除錯演算之 AIS 資料其有效性比例能符合計畫進行目標船舶追蹤之應用。於系統作業負擔優化部分，此次研究亦嘗試在實測區域進行 AIS 接收站的架設，用以獲取區域性範圍的即時 AIS 船舶資料，就系統處理結果評估確實能	第四章 第一節	pp.57 ~ pp.59

		有效解決整體數據處理量過大之情形。		
	AIS Message 封包在解析的過程中，其欄位及資料驗證的程序執行幾次？對於不同的資料種類，如 A 類、B 類或中繼回傳，資料處理上是否有差別？	謝謝委員指導，目前在 AIS 資料處理的流程，主要是先將獲取的 AIS 資料進行解碼，完成各欄位數據的解析，再以排程演算方式進行 MMSI、航速與航向等欄位屬性檢測及除錯驗證，其整體資料都會經過 1 次檢測及除錯處理程序，其不同資料種類處理程序並無差異。	--	--
	本計畫中超過 40 節的航數就不列入，是否會造成 Missing Data 的情形。因部分的航數過大，可能為特殊狀況或突發狀況而做掩飾，有無需要瞭解該情形的必要或系統僅進行常態性的動態理解。	謝謝委員指導，目前在 AIS 船舶航速數據欄位檢測的航速異常識別，主要仍是先以過於超乎常態性航速標準做為數據判斷準則。後續團隊將納入委員建議，進一步評估結合其它資訊分析船舶航速異常行為狀態。	--	--
	期末報告中宜將實際操作過程以影片方式呈現。	謝謝委員指導，團隊將依循委員建議，彙整相關研究與測試結果，並呈現於期末成果報告	--	--
楊文榮研究員	建議補充說明 AIS 航跡預測及未來針對海域船舶異常或危險航行行為之分析的規劃。	謝謝楊研究員指導，已依循建議 AIS 船舶航跡預測與異常行為之分析。	第四章 第一節	pp.64
	請研究團隊補充說明，針對本案所開發之軟體及圖台是否有可能應用在市售的無人載具上或相容之機型，或以外掛方式整合。	謝謝楊研究員指導，此次研究開發所用的開發軟體為具備 GPL 協議的開源軟體，而測試載具亦是以開源飛行控制板進行相關功能、程序的編譯與整合。而市售載具之飛行控制系統若可支援開源程式，經相關參數設定與	第三章 第一節	pp.40 pp.41

		調校，評估應可相容於其它載具。反之，若市售載具的飛控系統非開放原始碼則無法進行其載具的相關功能開發。		
廖建明主任	AIS 圖台的功能是否有查詢功能並且增加可疑或高風險名單，以利進行稽查。	謝謝主任指導，船舶查詢功能可藉由系統平台的顯示介面點取船舶圖像獲取該船舶的 MMSI 及當前經緯度座標。在可疑或高風險名單查詢功能，評估可於未來建請交通部航港局提供過往未符合含硫排放標準之船舶資訊，做為可疑或高風險名單建立之依據，並將其資訊整合於系統平台。	--	--
	期中報告書中資料不足的部分請於期末報告補充說明。	謝謝主任指導，已依循主任建議，補充成果報告書不足之處。	第三章 第四章	--
	研究團隊於後續實海域測試及技術驗證部分，請邀請國海院同仁參與。	謝謝主任指導，在實海域測試作業與技術驗證部分，已依循主任建議邀請單位同仁到場觀看，並評估技術宜優化或修正之處。	--	--

## 附件五 期末報告書審查會議紀錄及意見回覆表

### ➤ 期末報告書審查會議紀錄

#### 國家海洋研究院期末成果報告審查會議紀錄

一、採購案編號：NAMR-110-054

二、採購案標的名稱：船舶多目標追蹤技術開發委託專業服務案

三、時間：110 年 11 月 16 日 (星期二) 上午 09 時 30 分

四、地點：國家海洋研究院 (高雄市前鎮區成功二路 25 號 11 樓)

五、出席單位及人員：

國家海洋研究院	廖建明	主任
	鄭明宏	研究員
	楊文榮	研究員
國立屏東科技大學	謝連德	教授
崑山科技大學	羅仕堂	教授
國立高雄科技大學	翁健二	教授
	楊烈	研究助理

六、記錄：楊文榮

---

#### 討論議題：期中報告審查會議

#### 審查委員審查意見

##### (一) 謝連德 委員

1. AIS 資料庫中重複性的處理、排程除錯之檢測，如何再精進及強化?有何實質具體之建議及改善方式?
2. 實海域測試之案例解析及本計畫之技術驗證實際狀況之檢討，建議再補充完整說明。(如改善 AIS 延遲時效、環境之干擾問題等)
3. 整體系統圖像平台及顯示/控制介面之設計，建議補充說明如何發揮稽查功能或擴充。
4. 追蹤飛行時，距離船體大於 120m 之距離時，是否有不斷追尋目標歷史航點的迴圈問題? 如何精進或改善?

5. 本計畫船舶多目標追蹤技術之開發上，亦請注意行政面(行政事項及申請程序)之限制與規範。

## **(二) 羅仕堂 委員**

1. AIS 錯誤部分，建議完整敘述分類說明以利後續研究。
2. UAV 監測或取樣如何能持續進行。
3. 部分系統運作或資料流程建議增加流程圖或其它圖例表示，以方便閱讀。
4. 資料庫規劃宜完整列出有哪些資料表與每個資料表之欄位，以及資料是否能下載或公開。
5. 採樣設備、標準是否經過確認或檢驗。
6. 目前其它港口之具體作法為何？
7. 建議補充系統之操作說明流程。
8. 宜再探討使用類神經網路方式進行路徑預測是否恰當。
9. UAV 限制嚴格是否影響未來具體可行性？

## **(三) 鄭明宏 研究員**

1. 報告文獻編號是否由[1]開始，而非用排好的順序。
2. 報告中，圖 2-1、圖 2-2 解析度不佳，請修正。
3. 在報告 P.47 提到有無人載具禁航區，若在此區域時，有何種解決方式，請補充。
4. 報告前述章節用許多頁數說明空污的規範，但後續成果僅列出空污監測設計，建議將規範敘述放入附件，較能聚焦“船舶目標追蹤”。
5. 請補充表 2-9 國際商港 UAV 應用之效益說明
6. 請補充說明無人載具的成本、可利用時間及異常天氣影響等。若是出入口是否採用定點攝影機會比較適當。
7. 請補充說明是否可以提供即時空污資料傳輸分析。

## **(四) 廖建明 主任**

1. 本案技術發展有助於智慧與綠色港區的實現，要如何符合現有的法規發展自動化採樣是本案的目標。
2. 建議補充說明主動式追蹤技術發展之可行性。
3. 建議補充說明空氣採樣或自動偵測技術的發展。

七、會議結論：

八、散會：上午 10 時 30 分

➤ 期末報告書審查意見回覆表

委員意見		意見回覆	章節	頁碼
謝連德委員	AIS 資料庫中重複性的處理、排程除錯之檢測，如何再精進及強化？有何實質具體之建議及改善方式？	謝謝委員指導，目前研究於排程除錯演算法偵測解碼後的 AIS 欄位數據資料，其異常數據資料是採取剔除方式確保整體資料的品質。未來在資料錯誤改善或優化之處，則可從船載設備與岸台基站等源頭針對訊號接收效能或降低干擾雜訊等方式進行強化。	--	--
	實海域測試之案例解析及本計畫之技術驗證實際狀況之檢討，建議再補充完整說明。(如改善 AIS 延遲時效、環境之干擾問題等)	謝謝委員指導，已依循委員建議針對實海域測試結果進行技術驗證之相關檢討並補充說明。	第三章 第二節	pp.48 ~ pp.51
	整體系統圖像平台及顯示/控制介面之設計，建議補充說明如何發揮稽查功能或擴充。	謝謝委員指導，在圖像平台設計建立稽查功能之規劃，宜可針對過往未符合含硫排放標準之船舶資訊建立警示名單，並透過系統平台比對即時解碼後的 AIS 船舶資訊，當資料庫偵測到警示名單名單之船舶，即於圖像平台發出示警訊息。	--	--
	追蹤飛行時，距離船體大於 120m 之距離時，是否有不斷追尋目標歷史航點的迴圈問題？如何精進或改善？	謝謝委員指導，目前載具飛行距離設定限制遠離 120 公尺，主要是依循臺灣港務股份有限公司之無人機飛行作業規範。此次在多船舶 AIS 目標自主追蹤演算法開發，研究透過對船舶航速、航向與經緯度座標等 AIS 資訊分析以及現地架設 AIS 接收站獲取即時的 AIS 資訊，能夠有效	--	--

羅仕堂委員		改善前期研究成果發生追尋目標歷史航點的迴圈問題。		
	本計畫船舶多目標追蹤技術之開發上，亦請注意行政面(行政事項及申請程序)之限制與規範。	謝謝委員指導，由於此次實海域測試作業為港區環境進行船舶追蹤測試，因此在行政程序申請與相關限制規範亦已依循委員提醒，遵循港區權責單位行政規範與流程進行作業申請。	附件一	pp.83 ~ pp.90
	AIS 錯誤部分，建議完整敘述分類說明以利後續研究。	謝謝委員指導，已依循委員建議補充 AIS 資料預處理及相關分類說明。	第四章 第一節	pp.57 ~ pp.65
	UAV 監測或取樣如何能持續進行。	謝謝委員指導，由於此次研究主要聚焦於船舶航行自主追蹤進行技術開發。其空污監測採樣裝置規劃部分，則是團隊初步研提設計規劃，擬以採樣鋼瓶與相關空品感測模組進行即時採樣與監測作業。後續技術實現還需仰賴結合海洋污染、船舶污染分析專長的相關團隊共同進一步規劃及探究。	--	--
	部分系統運作或資料流程建議增加流程圖或其它圖例表示，以方便閱讀。	謝謝委員指導，已依循委員建議針對系統運作及資料流程處理敘述內容進行圖例補充說明。	第四章 第一節	pp.57 pp.58
	資料庫規劃宜完整列出有哪些資料表與每個資料表之欄位，以及資料是否能下載或公開。	謝謝委員指導，目前在系統的 AIS 資料庫設計規劃之資料表主要分為三個，分別為未處理歷史資料表、已處理歷史資料表及已處理即時資料表。其欄位數據則是包括進行多船舶 AIS 目標自主追蹤演算法開發所需之 AIS 數據，包括船舶 MMSI、航速、航向、真航向、經緯度座標及資料接收時間。其完成預處理作業	--	--



		之 AIS 資料在匯入資料庫後，亦同步回傳至國海院所屬的 AIS 資料庫進行留存。		
	採樣設備、標準是否經過確認或檢驗。	謝謝委員指導，目前在採樣與偵測設備規劃主要是先探討可監測之空污相關化合物，如 PM <sub>10</sub> 、PM <sub>2.5</sub> 、SO <sub>2</sub> 、NO、NO <sub>2</sub> 、CO、CO <sub>2</sub> 、VOC 等，其設備之標準與檢驗則可於未來針對欲搭載的設備模組精度、是否通過相關單位檢驗通過等需求進行選擇。	--	--
	目前其它港口之具體作法為何？	謝謝委員指導，目前國際上同樣以無人載具進行船舶空氣污染排放偵測之案例，包括中國大陸香港及上海港，皆是以無人載具為平台搭載空品感測模組進行船舶煙流中 SO <sub>2</sub> /NO <sub>2</sub> 比例計算，藉以識別船舶是否切換低硫燃料油。此外，在上海港的實際應用案例則另結合地面架設熱顯像設備判別無人載具是否進行煙流軌跡進行偵測作業。	第二章 第四節	pp.38 pp.39
	建議補充系統之操作說明流程。	謝謝委員指導，已依循委員建議針對系統操作進行補充說明。	第三章 第一節	pp.44
	宜再探討使用類神經網路方式進行路徑預測是否恰當。	謝謝委員指導，依據研究於船舶航行位置預測模型模擬測試結果顯示，預測時間長短會對模型在時間欄位的學習能力精度造成影響，可能發生載具追蹤目標船舶預測位置誤差過大的情形。故應用類神經網路方式進行船舶路徑預測時間不宜過長，載具應可飛航至船舶即將航越的路徑點，等待船舶尾部煙流較為適當。	第四章 第二節	pp.70 ~ pp.72
	UAV 限制嚴格是否影響未來具體可行性？	謝謝委員指導，由於目前進行無人載具飛航活動，除人員須具備專業操作證照並進行載具的註	--	--

		冊與保險等事宜外，亦須符合交通部民航局的民用航空法遙控無人機專章規範。此外，在飛航活動地區亦須符合所轄機關或單位之申請作業程序和無人載具操作規定。以本案為例，未來應可邀請臺灣港務股份有限公司、交通部航港局等單位共同評估技術施行之適切作業相關流程和申請程序。		
鄭明宏研究員	報告文獻編號是否由[1]開始，而非用排好的順序。	謝謝鄭研究員指導，報告文獻編排主要是參酌本案投標文件之檢附注意事項規範的分類與排序編列方式，故於文獻編號排序採中英文區分，並依筆畫及字母順序做排列。	--	--
	報告中，圖 2-1、圖 2-2 解析度不佳，請修正。	謝謝鄭研究員指導，已依循鄭研究員建議，修正報告中解析度不佳之圖例。	第二章 第一節	pp.18 pp.19
	在報告 P.47 提到有無人載具禁航區，若在此區域時，有何種解決方式，請補充。	謝謝鄭研究員指導，依據目前相關規範，若須在禁航區進行飛航活動作業，則可以政府機關、學校或法人單位，因執行業務需求向民航局或地方政府提出申請，並檢附活動計畫書及相關文件，藉以取得禁航區內的飛航活動同意許可。	--	--
	報告前述章節用許多頁數說明空污的規範，但後續成果僅列出空污監測設計，建議將規範敘述放入附件，較能聚焦“船舶目標追蹤”。	謝謝鄭研究員指導，已依循鄭研究員建議將空污相關規範敘述內容修正至附件章節。	附件二	pp.91 ~ pp.93

	請補充表 2-9 國際商港 UAV 應用之效益說明。	謝謝鄭研究員指導，已依循鄭研究員建議針對表 2-9 國際商港 UAV 應用之效益進行補充說明。	第二章 第四節	pp.38 pp.39
	請補充說明無人載具的成本、可利用時間及異常天氣影響等。若是出入口是否採用定點攝影機會比較適當。	謝謝鄭研究員指導，在無人載具的成本概估上，除機體架構、滯空時間等需求外，主要還取決於搭載之感測模組種類、精度等設備儀器。在可利用時間與異常天氣影響部分，此次向臺灣港務股份有限公司申請實海域測試作業，依據其無人載具使用及安全管理事項規定，下雨、閃電、起霧(能見度小於 1 公里)或強風(風速 10.8m/s 含以上)等天氣禁止飛行，而許可飛行時間則為上午 8 時 0 分至下午 17 時 0 分。	--	--
	請補充說明是否可以提供即時空污資料傳輸分析。	謝謝鄭研究員指導，依據載具實海域飛行測試結果，評估後續若掛載相關空品偵測模組，其感測資訊則可藉由無線傳輸模組將即時的感測資料回傳至地面圖像平台進行呈現。	--	--
廖建明主任	本案技術發展有助於智慧與綠色港區的實現，要如何符合現行法規發展自動化採樣是本案的目標。	謝謝主任肯定，本次研究除期望能達成我國港埠地區範圍內之船舶低硫燃油使用情形與空氣污染排放狀況進行追蹤調查的前置技術開發外。後續團隊將進一步評估如何有效契合現階段在國內無人載具飛航活動作業之相關法令規範，並實現技術應用的效益。	--	--

	建議補充說明主動式追蹤技術發展之可行性。	謝謝主任指導，已依循主任建議補充主動式追蹤技術發展可行性相關說明。	第五章 第一節 第二節	pp.77 ~ pp.79
	建議補充說明空氣採樣或自動偵測技術的發展。	謝謝主任指導，已依循主任建議針對空氣採樣或自動偵測技術的發展進行相關補充說明。	第五章 第一節 第二節	pp.77 ~ pp.79