

整合風浪模式建立船舶航行監控預警系統

Development of the monitoring and warning systems for ship navigation considering wind and wave simulation

主管單位：交通部運輸研究所

黃茂信¹

張憲國²

蔡瑞舫³

Huang, Mao-Hsing

Chang, Hsien-Kuo

Tsai, Jui-Fang

¹交通部運輸研究所港灣技術研究中心

²國立交通大學

³天禾資訊有限公司

摘要

臺灣地理位置位於東北亞和東南亞交界處，往北連結日本、韓國，往南連接東南亞等各國，不僅是東北亞與東南亞海上來往航運的樞紐，在海運與經濟貿易上更為重要之熱點。然而我國位處之地理位置卻易受颱風或異常波浪侵襲，西北太平洋地區每年平均生成 26.7 個颱風，其中平均 3.6 個颱風對臺灣本島造成重大影響，颱風所引起的巨浪除對港灣設施造成破壞，亦困擾船舶航行與碇靠之管理。有鑑於此，本研究發展臺灣周邊海域的風浪預警介面，研發能快速計算颱風時期臺灣周邊海域颱風波浪的自動化整合生成模組，並利用現有的 AIS 系統配合風浪預測資料進行告警系統範圍的劃設，並即時提供危險範圍內的船舶資訊供管理單位做參考。

此外延續交通部運研所近年來在 AIS 系統與資料庫的相關研究，持續發展船舶航行安全風險評估系統，首先將往昔 AIS 資料轉換至更適合處理巨量數據的文檔式 NoSQL 資料庫，以提升 AIS 資料庫的擴充性與效能。並以此資料庫做為大數據資料源配合人工智慧技術建立船舶航跡預測模型，再透過統計分析界定船舶行為異常、位置異常等情況的告警原則，以布袋港為示範港建立智慧化船舶航行安全風險評估系統，期能降低海上災難發生機率，有效提升船舶於海上航行與港口定船停靠之安全。

關鍵詞：自動識別系統、波浪預測、資料庫、人工智慧、預測系統

Abstract

Taiwan is located at the intersection between the geographical subregions of North-East Asia and South-East Asia to have a key junction of ship navigation between both subregions and to be a hot spot of sea transportation and economics and trade. However, the waters around Taiwan are suffering huge waves during typhoon periods. Averaged 3.6 typhoons per year pass through or by Taiwan from an average of 26.7

typhoons occurring in the region of the west Pacific Ocean and. Those typhoons cause strong winds and large waves to have severe impacts on sea transportation in the waters. Based on the demand for safe sea transportation during typhoon periods, monitoring and warning systems for ship navigation are required to be developed considering fast wind and wave simulation associated with AIS.

Following the recent researches for AIS and its related data base supported by the Center of Harbor & Marine Technology this project is to develop a new warning system for safe ship navigation. The key works are: 1. Converting the original data of AIS stored at the Center of Harbor & Marine Technology to a format for a NoSQL data base that can be easily used for the treatment of big data for data augmentability and efficiency; 2 Applying artificial intelligence techniques to simulating ship tracks and to determining the criteria of abnormal sailing behaviors and stranding positions. The warning system is established and examined for the Budai Port as an example.

Keywords : automatic identification system, wave prediction, database, artificial intelligence, warning system.

一、前言

臺灣不僅是東北亞與東南亞海上來往航運的樞紐，在海運與經濟貿易上更為重要之熱點，然而地理位置卻易受颱風或異常波浪侵襲，港灣周邊熱絡的船舶活動也存在諸多不可抗拒的危險。本研究主要目的是設計一套自動化預警介面提供臺灣周邊海域即時的航行安全預警。針對即將發生的颱風事件進行波場模擬，並將結果與現有船舶自動識別系統(AIS)的資料建立船舶航行安全大數據資料庫，另透過人工智慧(AI)技術建立船行預測模型，進而建立更完善的AI智慧化船舶航行安全風險評估系統，使其能因應海象與船舶航行時的異常行為等訊號在災害發生前先行告警，以降低海上災難發生機率，有效提升船舶於海上航行與港口定船停靠之安全。

二、研究方法

本研究主要可分為兩部分，其一為整合風浪預測至AIS系統並進行預警，此部分研究範圍與對象為臺灣周邊海域。另一則為船舶航行安全風險評估系統的建立，此部分可分為三個子項目：1.航行安全大數據資料庫的研究對象包括交通部航港局目前所架設的AIS接收站範圍內之資料；2.船舶航安預測模型目前擬針對航行安全大數據資料庫中整合的船舶軌跡資料；3.AI智慧化船舶航行安全風險評估系統，由於使用上各港獨立操作，開發上會先從資料庫中萃取部分資料，目前先選擇容易有擱淺問題的布袋港進行展示，研究流程如圖1所示。

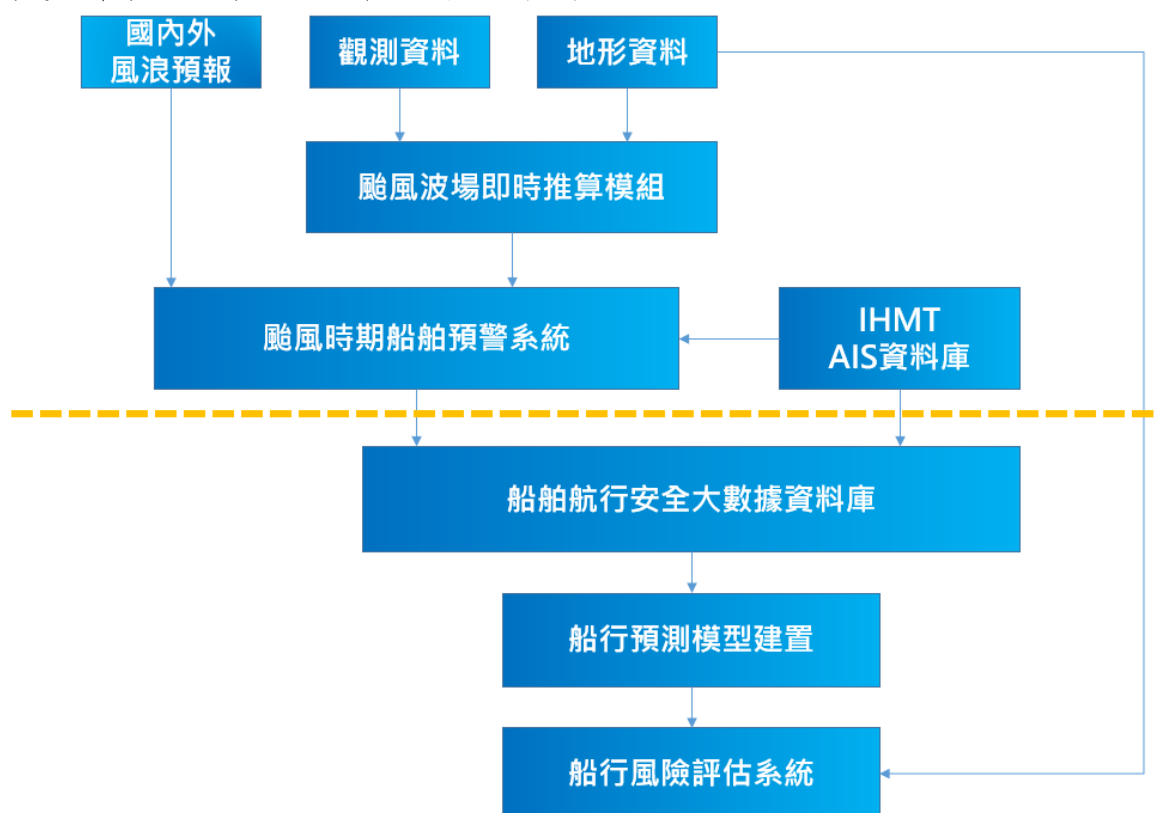


圖1、研究流程圖

2.1 建立自動化整合生成模組

本工作項目主要建立一個颱風期間的自動化颱風波浪整合生成模組，能自動進行颱風波浪的波場推算。此模組主要包括三個部份：1.資料下載與前處理;2.參數化風場計算模組；3.波浪計算模組。並串聯三個模組實現自動化颱風波浪預測，流程如圖2所示。本研究建立一可自動化執行的整合模組，利用氣象單位所發布的颱風預測資訊進行參數化風場的計算，以提供後續波浪計算模組的輸入條件。在風場計算模組中包括颱風資料處理及參數化風場的計算。在風場的計算中往昔研究提出的多種最大風速半徑估算方式來提供參數化模型風場作為尺度的調整係數，本研究為決選最適合臺灣地區使用的最大風速半徑公式，亦與實測風速的比較來做判斷。另編寫程式將原本須人工操作的MikeSW模式加入波浪計算模組，以完成自動化颱風波浪整合生成模組。最後透過波浪計算模組計算往昔颱風波浪並與實測波浪進行比較，評估在臺灣各主要港口的波浪推算的精度分析。

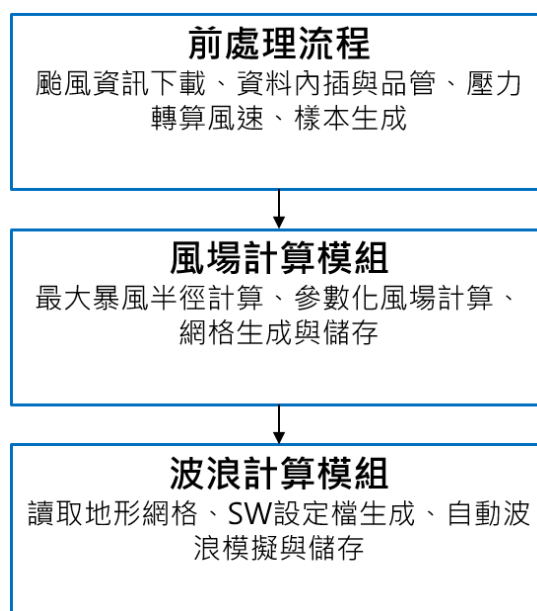


圖2、自動化颱風波浪整合生成模組工作流程

自動化波浪推算整合生成模組可當颱風侵臺時可自動介接中央氣象局的颱風資訊，可提供快速生成風場資料輸入MikeSW計算周邊海域的波場變化結果。本研究採用颱風資料庫往昔颱風資料配合交通部運輸研究所港灣技術研究中心長期在臺灣各主要港口監測的波浪資料進行推算精度的評估。其中只要中央氣象局所公布颱風期間有波浪資料的波浪測站皆納入評析。

2.2 建立自動化颱風時期船舶預警介面系統

本預警介面採用網頁介面的方式，如此可以集中於伺服器端處理所有運算，未來各單位可透過網際網路直接以網頁瀏覽器進行操作處理，除了省去軟體安裝與系統環境的設定外，更可透過行動設備進行操作與處理。主要功能即時提供6小時以上之波浪預測結果，並於圖面劃設警示範圍，透過連結現有AIS資料集，彙整應提出警示的船舶資訊，流程如圖3所示。

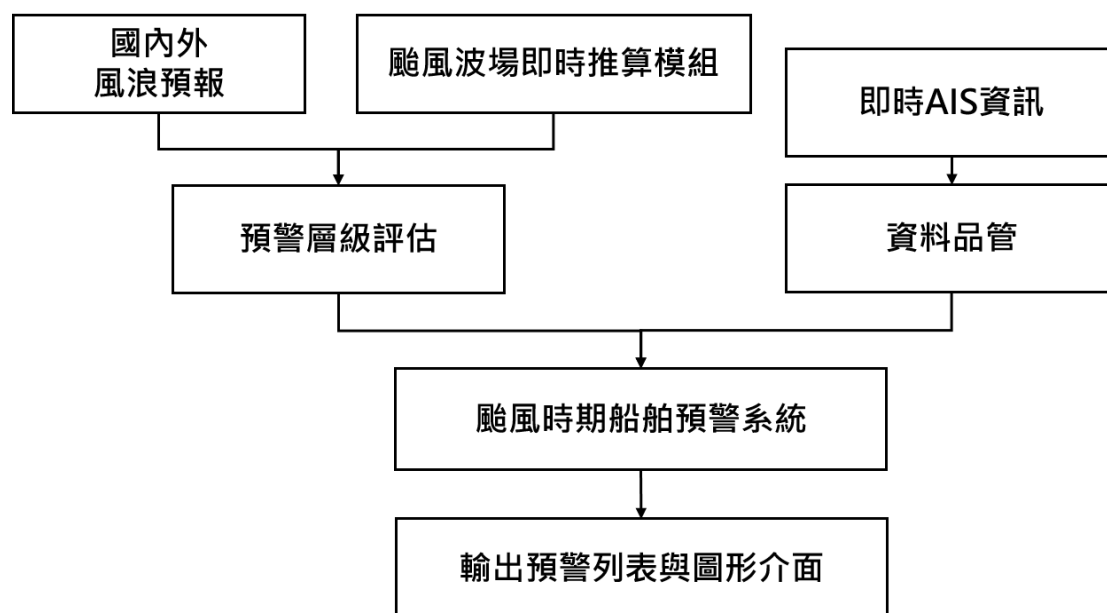


圖3、颱風時期船舶預警介面系統流程圖

波場資料以Geoserver提供Web Map Service(WMS)的方式提供即時圖資，Geoserver係以Java語法所寫成的開源地理資訊系統網頁服務，是Open Geospatial Consortium (OGC)的標準Web Feature Service (WFS) 與 Web Coverage Service (WCS)的實做，同時也符合Web Map Service (WMS)標準，如同是網路地圖系統的核心。License為GPL (GNU General Public License)。整體來說，Geoserver也就是一個可架設於各種系統之上，讓使用者可以透過網路修改發佈地圖資料，這個系統支援許多規格如Shapefile、PostGIS等，並可轉成多種輸出格式如jpeg、gif、png、KML、OpenLayers等。此外也支援許多的地圖API如Google Maps、Google Earth、Yahoo Maps、MS Virtual Earth與ESRI ArcGIS。目前採用最新發布版本為2.15.2。Geoserver其功能目的在方便發佈地圖相關數據，同時也允許使用者編輯、更新資料，以便於用戶之間快速共享地理資料訊息。目前波場資料直接介接中央氣象局的波浪預測資料供即時呈現，未來若有需求亦可替換為其他波浪預測結果。

介面部分採用Leaflet來進行建置，是一款被廣泛使用在製作網頁地圖應用程式的JavaScript library開源套件，LICENSE種類為BSD 2-Clause，在2011年首次被發表，只要透過瀏覽器，可應用在電腦及行動裝置上。Leaflet支援各種圖層資料格式，如Web Map Service (WMS)、Web Map Tiled Service (WMTS)、GeoJSON、Vector等格式，近年隨著軟體開源的盛行，各開發者不斷貢獻套件，使leaflet功能更趨完整。且Leaflet與其他開源軟體相比更加輕量化，大小僅約38KB，目前採用最新版本為2019年11月推出的Leaflet 1.6.0版。

2.3 船舶航行安全大數據資料庫資料源處理

本研究透過蒐集往昔AIS資料庫的紀錄檔，重新建立一套能提供後續船舶航安預測模型使用的資料庫。新的資料庫在水平擴充、查詢效能與便利性上都較往昔的資料庫有更好的表現。雖然目前成果主要提供工作團隊進行快速統計分析與AI模型建模之使用，但也能提供未來各AIS資料儲存單位作參考。

船舶AIS資料庫因需要不斷蒐集船隻回傳的訊號，有大量資料需蒐集處理，以2020年臺灣附近AIS接收資料量統計，每個月約有近5億筆資料，資料量大小約130 GB。在大量資料需不斷接收時，因不確定未來硬體容量需求，故此資料庫選擇時，需容易平行擴充，避免未來容量不足需轉移資料庫的問題，而AIS資料屬於地理空間資料，此資料庫亦需提供空間索引查詢功能，才能在大量資料下，快速搜尋空間中所需資料。因此系統亦包含海氣象警示系統，若能將歷史海氣象資料存放置資料庫中，未來將能提供歷史預測查詢或執行海氣象與船隻行為的研究。在統合以上需求及參考其它AIS資料庫研究後，選用文檔式NoSQL資料庫 - MongoDB。MongoDB是屬於文檔式NoSQL資料庫，NoSQL資料庫的意思是 "Not Only SQL"，也就是不限定為「關聯式資料庫」的資料庫管理系統的統稱。此類NoSQL具較高的彈性、可擴展性、高效能及高功能性的特點。

將歷史資料庫轉移至MongoDB中，再根據MMSI分類並加入篩選條件，去除異常資料，降低資料庫大小，並建立軌跡資料庫。因在歷史資料庫中，逐時接收資料時並未考量是否由同一艘船發出的訊號及接收資料的品質，為了提供預測模型訓練資料集，在此需先建立歷史軌跡資料庫，以提高取得資料集時的速度及品質。在建立船軌跡資料庫時，不僅將MMSI加入索引，也將經緯度加入做為空間索引，在MongoDB中，若要建立空間索引，需先建立GeoJson欄位，再透過createIndex功能中"2dsphere"的方式建立空間索引，因為軌跡座標，故GeoJson欄位使用"MultiPoint"代表軌跡。將資料匯入前，先去除時間及空間重複資料，再刪除COG及SOG的異常值，因AIS回傳資料中，回傳頻率有時間格較長，為了切分每次船舶任務的軌跡，此研究選定以3小時做為判斷標準，若超過3小時無回傳資料，則此次航行任務結束，取得其船軌跡，最後在船軌跡中，以速度判斷異常資料點並將該資料移除。

為在介面中提供船舶即時位置及路徑資訊，供推算後告警使用以及為維持資料庫穩定，讀寫分離，需為即時呈現系統建立資料庫，此資料庫索引設定包含MMSI、Record Time及空間座標，資料庫更新資料內容為交通部航港局所提供的15分鐘資料庫，資料庫中包含15分鐘內，船舶回傳的最後一筆資料，並於每分鐘更新，取得資料後去除重複資料，寫入即時資料庫中，為維持資料庫效率，此即時資料庫僅保留15分鐘內回傳資料。

2.4 船舶航安預測大數據模型建置

AIS資料庫長期蒐集船隻回傳資料，經由有效整理彙整為軌跡資料庫後，詳如前一章節說明，可搭配AI技術建立深度學習路徑預測模型，可預測船舶未來可能動態，從而提前發出警告訊息，達預警效果。首先預處理資料集中的軌跡資料，並建立預測模型及評估，並使用最佳模型進行延時分析。因AIS接收資料遍及臺灣周圍海域，各海域各有其船舶行為，本研究範圍選用布袋港周圍船隻建立預測模型，選擇船舶路徑經過此範圍的船隻，範圍大小為1 km。

2.4.1 訓練資料選擇及資料預處理

AIS資料庫欄位中，並非所有資料都與路徑軌跡有關。COG因角度0度及360度不連續，在空間中分布較散亂，會使模型在訓練時混亂，不易建構模型。本研究將COG與SOG整理為U、V向量表示方式，在空間中已有明顯較集中的分布，可增加模型訓練的成功率。而ROT機率密度統計圖及ROT方向資料多為定值，與船隻實際行為相關性待需進行更多分析，故暫不考慮將ROT納入模型輸入值中。本研究最終選擇與船舶航行有關的欄位包括與經緯度(Lat, Lon)、方向向量(U, V)及回傳時間來進行分析與篩選進行建構深度學習模型所用的資料。

在資料庫中，亦有船或浮標等搭載AIS系統的載具，在漂流時回傳資料，因此類目標的行為無法預測，故將此類資料排除，排除條件為活動軌跡中經緯度範圍小於0.01度的資料。在檢視完整體軌跡行為異常後，單一任務軌跡內部亦有異常資料點，可能因定位系統錯誤，導致在軌跡中，有時會出現極端離群值位置，為處理此種異常行為，本研究選用統計學中常用的去除離群值方法，離群值的臨界值上限選用 $Q3 + 1.5 * IQR$ ，下限為 $Q1 - 1.5 * IQR$ 。

路徑軌跡預測屬於時序列預測模型，建構神經網路模型結構時，需先確定所要輸入的時間長度及間距，固定網路形狀後，才能透過誤差梯度更新神經網路內的參數，而因AIS回傳資料時間間距不定，故需先讓時間間距固定，本研究使用線性內插方式補足資料點，考量漁船、高速船等船舶速度及操控靈活性較高種類，選用內差時間間距為1分鐘。為避免常見路線軌跡或漁船常停留地點而導致訓練模型時，預測結果會往偏向停留地點，故在將資料輸入訊模型前先使用正規化(Normalize)處理，如下式(1)。完整資料預處理流程如圖4所示。

$$X_{normalized} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

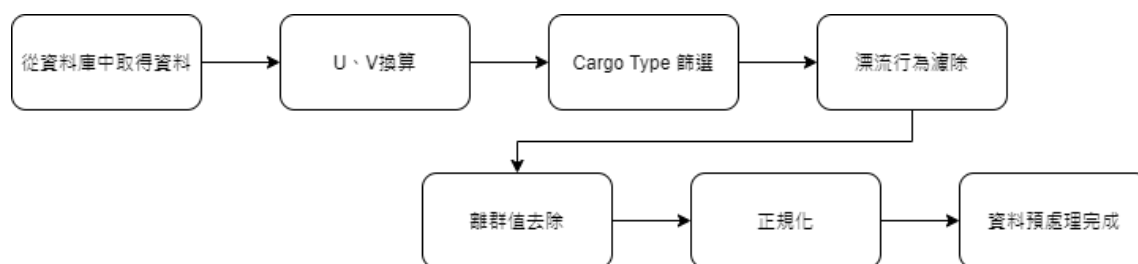


圖4、資料預處理流程圖

2.4.2 AI 模型

本研究分別架構FNN、LSTM及GRU三種深度學習模型，詳細模型架構如以下，並比較三種模型預測的準確度及運算速度，三種模式架構圖如圖5所示。

1. 前饋式神經網路(FNN)

輸入層將10個時間點4種資料(經度、緯度、U、V)展開成10*4個輸入值，隱藏層部分使用兩層全連階層連接，神經元數量皆為64，activation function 使用relu，輸出層輸出2個值分別代表經緯度。

2.長短期記憶神經網路(LSTM)

輸入層輸入10個時間點，每個時間點含4個參數，隱藏層中包含一個LSTM層，內涵128個神經元，activation function 使用tanh，recurrent activation function使用sigmoid，連接一層512個神經元的全連接層，輸出層輸出2個值分別代表經緯度。

3.Gated Recurrent Unit

輸入層輸入10個時間點，每個時間點含4個參數，隱藏層中包含一個LSTM層，內涵128個神經元，activation function 使用tanh，recurrent activation function使用sigmoid，連接一層512個神經元的全連接層，輸出層輸出2個值分別代表經緯度。

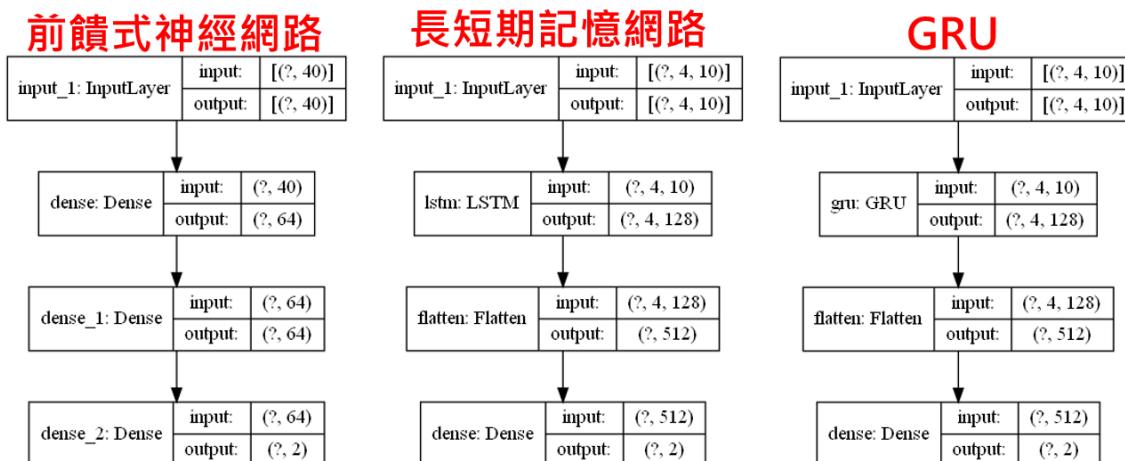


圖5、三種模型架構圖

2.5 AI 智慧化船舶航行安全風險評估系統建置

為降低海上災難發生機率，有效提升船舶於海上航行與港口定船停靠之安全。本章依據招標工作目標引入前述AI船跡預測模型於AIS系統中，建立船舶航行安全風險評估系統。可針對當前回傳的AIS訊號，透過AI模型及歷史資料庫統計結果判斷是否需要進行告警。研究流程主要先統計歷史軌跡資料庫中各項特性，再針對本研究的告警項目統計及探討。其中行為異常透過統計方法及船舶限制判定異常告警，位置異常則透過AI船軌跡預測模型預測未來船軌跡位置，針對是否進入特定危險區域等狀況進行告警。

三、研究成果

3.1 自動化颱風時期船舶預警介面系統

本介面網頁呈現如圖6所示。基本操作部分，網頁左上方有Zoom in與Zoom out互動按鈕，緊鄰其下方為主要功能表包括風浪預測圖層開關，告警資料的展示與輸出、船跡動畫展示開關與多邊形劃設功能。右上角則有波向動態質點及風浪告警門檻值開關等。左下角在開啟波向動態質點開關時會同步呈現滑鼠游標所在處之海氣象資訊。

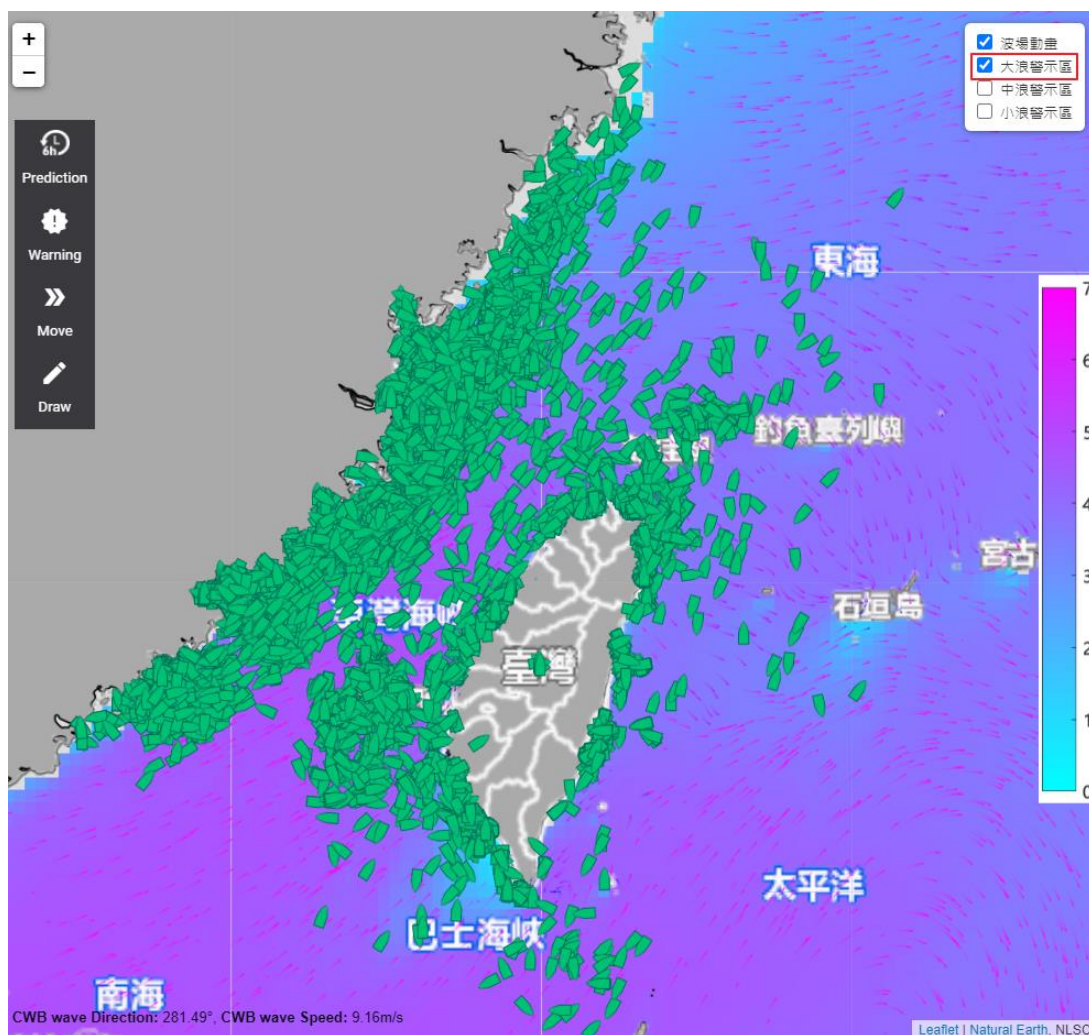


圖6、目前介面網頁呈現狀態

示範底圖採用國土測繪中心提供之通用地形圖，波向動態質點會沿著波向持續有流動的動態效果，為工作團隊使用leaflet開源插件工具leaflet-velocity所建置之特效，其License為MIT License。主要用來實現風場、波場、洋流等具方向性條件的視覺化工具，透過HTML中Canvas 畫布實現，避免載入過多粒子。其動畫資料處理方式流程如下說明，先將格點上資料以雙線性內插方式(Bilinear Interpolation)，產生一較平滑表面，並隨機生成許多粒子在表面上，粒子會隨內插後的速度場移動及改變顏色。

圖7為打開颱風波浪示警區域的示意圖，預設三種分級分別對應蒲福風級表中5至7級的風浪最大值做為門檻，將大於此門檻的部分於圖面標示色塊，警示等級由低而高分別對應黃、橘與紅色範圍。若點選左側warning工具列中的船舶浪高資訊會開啟預警船舶列表輸出視窗，先列出三種波高範圍之船隻統計量，並可將警示區域內的船舶資訊輸出。

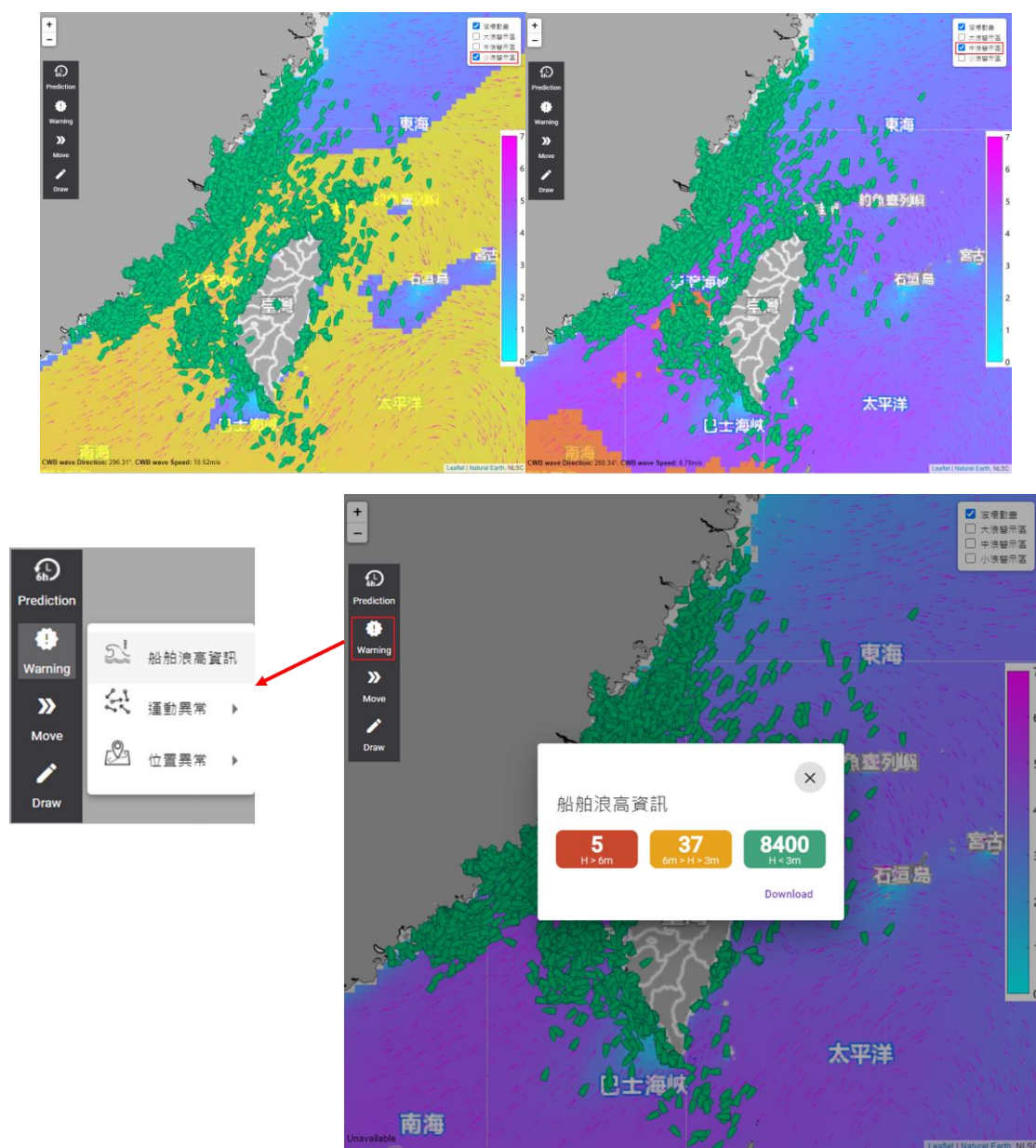


圖7、開啟颱風波浪警示區域的呈現與輸出功能

3.2 AI 智慧化船舶航行安全風險評估系統

透過三種AI模型推算測試資料集的結果比較，LSTM有最好的推算結果，其次是GRU模型，FNN模型表現最差，而運算時間最短的是FNN其次是GRU，最慢的是LSTM，但其耗費時間與GRU相差不大，最後選用LSTM繼續後續的分析。LSTM模型輸入值為10分鐘，推算後1分鐘的位置，若欲再往後推算時間點，可將推算結果在做為輸入值再加入模型中推算後面時間點的位置，以LSTM模型，探討推算後面時間點對於準確度的影響，可做為實際應用時的參考。

在實際應用時，因無法得知路線全域軌跡，無法使用最大值與最小值正規化，故將要輸入的10點資料中，將其最大值經緯度+0.1，最小值經緯度-0.1，作為正規化的依據標準。而在模型中，輸出的資料只有座標位置經緯度資料，並無U、V資料，無法直接作為輸入值，在前面章節有提到，U、V是透過SOG及COG計算而來，但若

直接透過預測的資料點回推SOG及COG後計算U、V值，可能因預測的誤差，導致SOG速度異常的狀況發生，故在推算後面資料時，本研究透過輸入時的10筆資料SOG平均，做為下一次時間點輸入計算的依據，結合預測資料點t與t-1時刻資料點位置座標計算的COG方向，計算出U、V作為下次時間點的輸入，流程如下圖8。

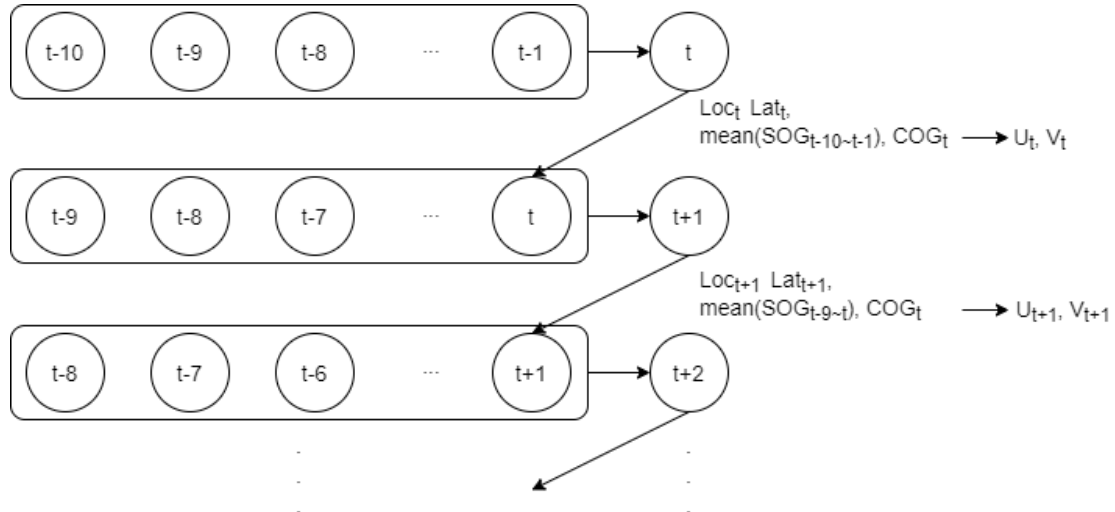


圖8、延時推算示意圖

圖9為延時推算結果，可以看到推算誤差隨時間增加而增加，往後推算3分鐘，誤差在1km以內，往後推算10分鐘誤差達到3.8 km，此結果顯示了誤差累積的情況，推算時間點越往後延伸，其路徑軌跡越散亂。

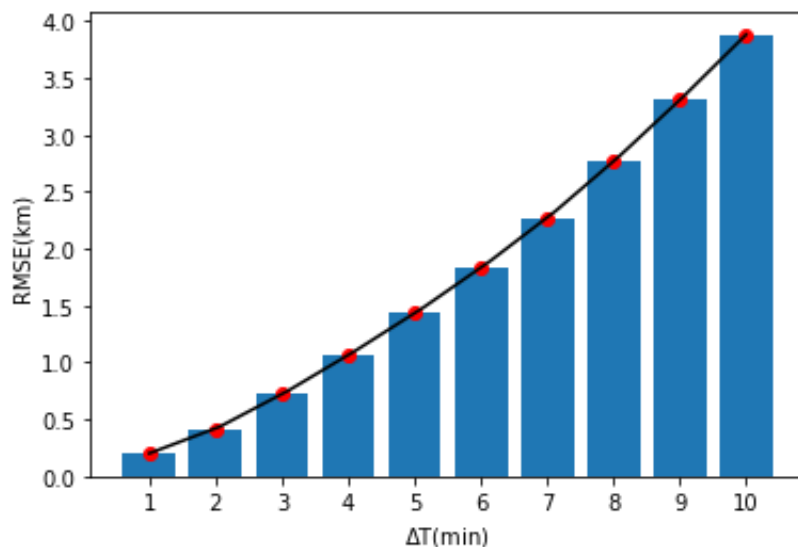


圖9、延時推算結果

本研究針對海上船舶航行行為、擱淺告警、船舶異常告警及漂流告警等目標建構船舶航行安全評估系統，將船舶的異常行為分為運動異常與位置異常兩類。運動異常中在細分為速度異常與船舶異常。位置異常則分為擱淺、偏離航道與禁航區等三類。詳細分類示意圖如圖10。

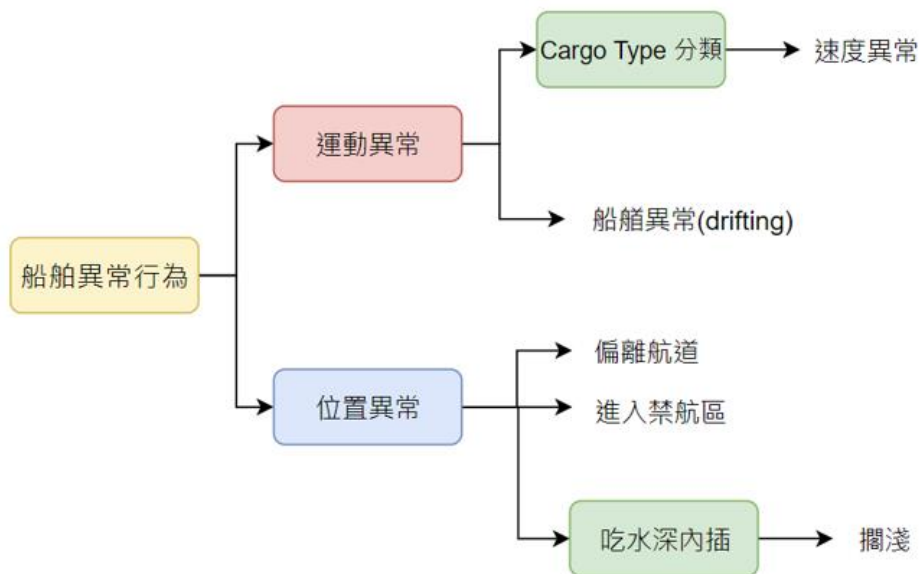


圖10、船舶異常行為判定分類

為提供現有研發成果的展示，工作團隊一併將船舶安全風險評估系統的告警資訊在自動化颱風時期預警介面作展示，圖11為介面中各種告警資訊的輸出工具列布局。圖12則為將船舶異常警示的符號加入介面中。當介面中出現告警船隻的位置，使用者可用滑鼠點選船隻對該船進行預測路徑的展示，如圖13。

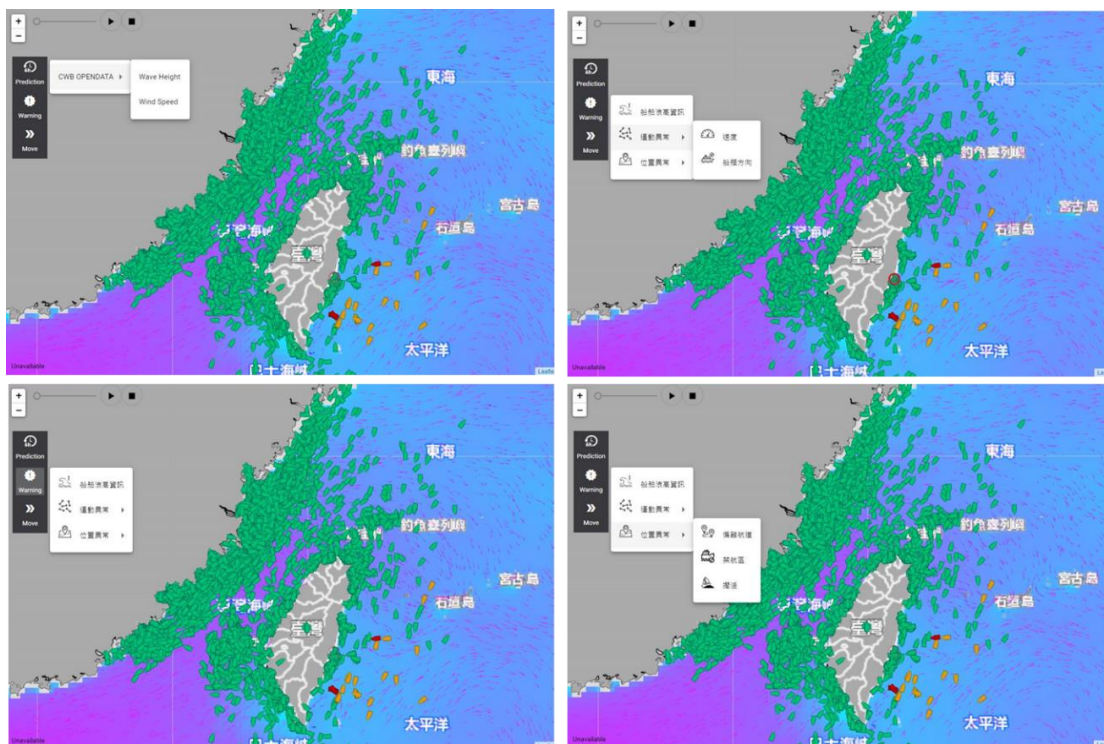


圖11、各種告警資訊的輸出工具列

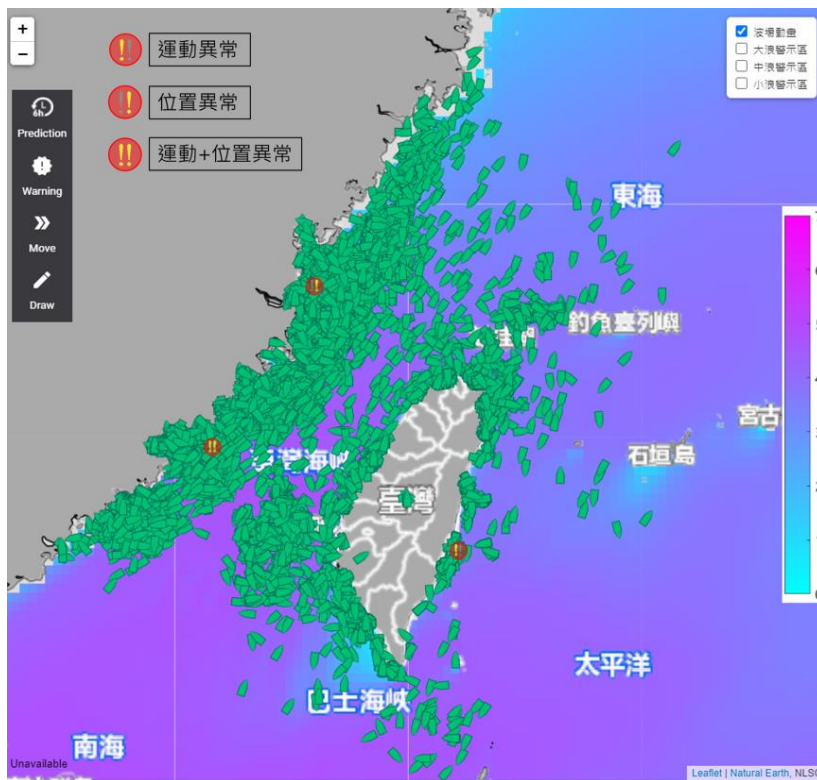


圖12、船隻異常警示圖示

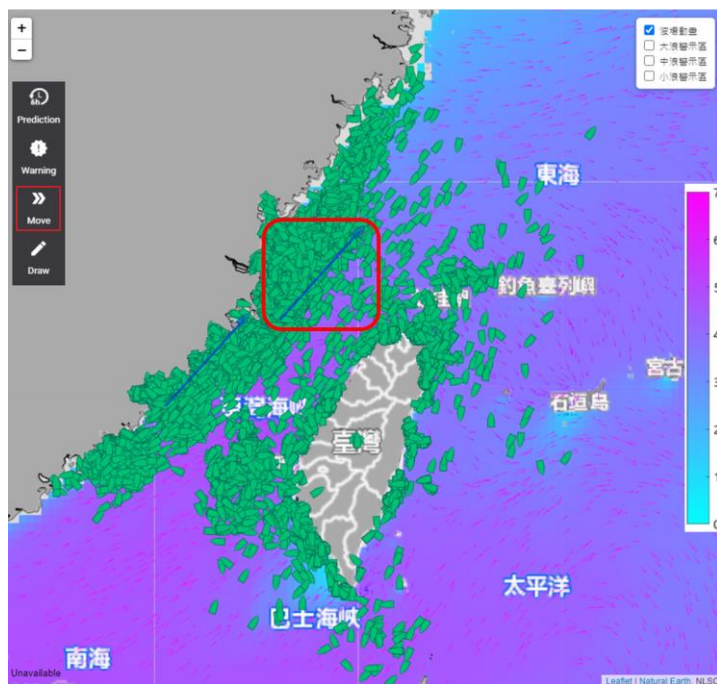


圖13、異常船隻路徑展示功能

此外針對禁航區與未來航道限制等考量，工作團隊在介面中加入了自定告警區域的功能。在接獲公告禁航區或已規劃的航道限制，使用者可用滑鼠點選左側工具列開啟劃定告警區域功能，並進行劃設，如圖14。目前這些功能已完成於介面中，

未來亦可視使用單位將告警結果以API方式介接至其他更合適的圖台做其他應用。圖15為介面於布袋港的展示成果。

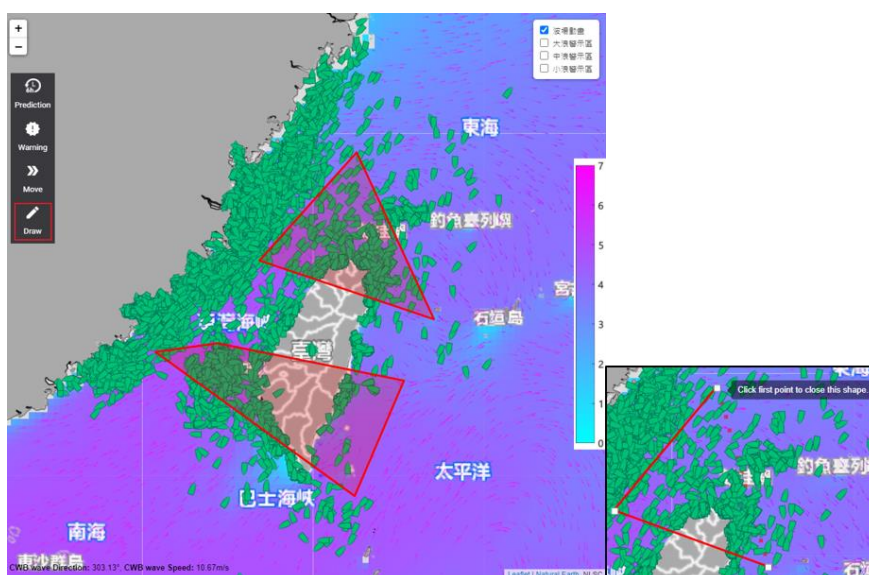


圖14、劃定告警區域的功能

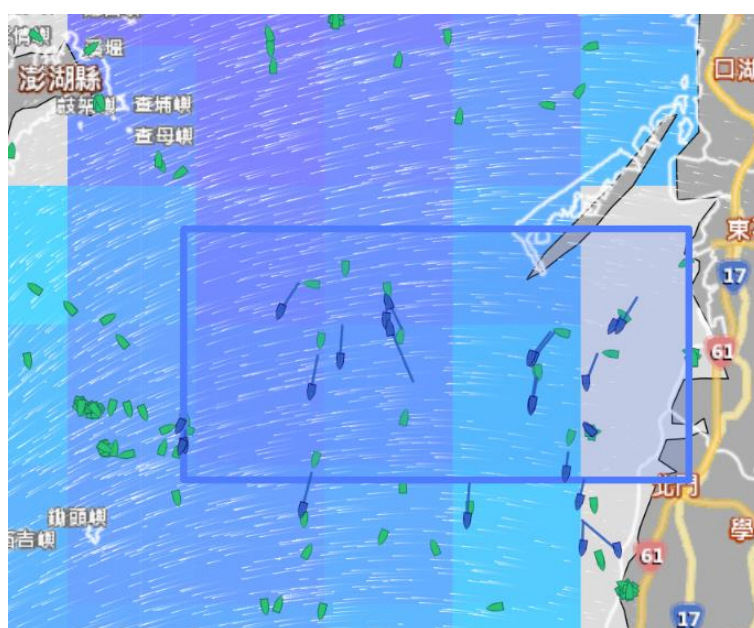


圖15、介面於布袋港之展示成果

四、結論與建議

為建立更完善的船舶航行安全風險評估模型與監測系統，以降低海上災難發生機率，有效提升船舶於海上航行與港口定船停靠之安全。本研究延續港灣技術研究中心近年來的AIS系統與資料庫等相關研究，進一步引入更適合大數據的文檔式NoSQL資料庫，並結合風浪預測資訊與AI技術，發展自動化颱風時期船舶預警介面系統與AI智慧化船舶航行安全風險評估系統。

本研究比較不同參數化風場與最大暴風半徑的計算方式，決選最合適的計算方式來進行參數化風場計算，並配合MikeSW的波場計算模組建立可自動化運行的整合模組，當颱風侵臺時可自動介接中央氣象局的颱風資訊，快速生成風場資料輸入MikeSW計算周邊海域的波場，並採用颱風資料庫往昔颱風資料配合交通部運輸研究所港灣技術研究中心長期在臺灣各主要港口監測的波浪資料進行推算精度的評估。針對各種預報方式進行精度與資料可取得性評估後，選用中央氣象局開放資料平台進行介接並即時提供6小時以上之預測結果，再依三種門檻進行警示區域範圍劃設，並具備連結現有船舶自動識別系統(AIS)的功能，列出應提出警示的船舶資訊供管理人員參考。

工作團隊蒐集往昔AIS資料庫的紀錄檔，重新建立一套能提供後續船舶航安預測模型使用的資料庫。新的MongoDB資料庫在水平擴充、查詢效能與便利性上都較往昔的資料庫有更好的表現。目前除提供工作團隊進行快速統計分析，另經過一系列資料品管，將MMSI加入索引，也將船跡經緯度資料加入作空間索引，作為AI船跡預測模型建模所需的歷史軌跡資料庫之使用。將AIS資料庫長期蒐集的資料彙整為船行軌跡資料庫後搭配AI技術建立深度學習路徑預測模型，可預測船舶未來可能動態，從而提前發出警告訊息達到預警效果。本研究先預處理資料集中的軌跡資料，並建立多種預測模型進行評估，最後使用最佳模型進行模型擴展延時分析，並評估擴展預測時間後的誤差情況。透過統計歷史軌跡資料庫中各項特性，將船舶異常情況分為兩大類，其中行為異常透過統計方法及船舶限制判定異常告警門檻，位置異常則引入AI船軌跡預測模型預測未來船軌跡位置，針對是否進入特定危險區域等狀況進行告警。

本研究建立的自動化波浪推算整合生成模組，可自動化運行整合模組，當颱風侵臺時可自動介接中央氣象局的颱風資訊，並快速計算周邊海域的波場，除了颱風時期的波浪預警外，亦可提供往昔颱風波浪的計算，可應用於海岸工程規劃設計階段的設計波推算。未來若能持續提供WRF加密計算的風場來源，亦可提升波浪推算精度。AI智慧化船舶航行安全風險評估系統目前僅先以布袋港周邊為示範區進行建置，系統建置過程的經驗與AI技術應用的結合可提供相關研究人員與學術單位做參考。擱淺告警中所採用的地形資料建議未來可蒐集更精準的地形水深資料，以利提升擱淺告警之判定準確度。

參考文獻

1. 陳蔚瑋、張憲國、劉勁成、朱志誠、賴彥廷(2018)「極值波浪推算模組化操作系統的研發」，第40屆海洋工程研討會，高雄。78-83。
2. 蔡立宏、黃茂信、陳子健、簡靖承(2019)「船舶監控預警系統之研究」，交通部運輸研究所合作研究計畫報告。
3. 謝明志、蘇青和、黃茂信、翁健二、潘郁仁(2020)「船舶航行安全大數據資料庫應用與分析」，交通部運輸研究所合作研究計畫報告。