

海洋地理資訊系統應用於船舶復航決策 Application of MGIS on Decision of Vessel Course Again

蘇健民¹ Chien-Min Su

高聖龍² Sheng-Long Kao

張啟隱³ Ki-Yin Chang

鄭智湧⁴ Chih-Yung Cheng

摘要

本文考慮船舶之操縱性能及慣性力作用，當讓路船於採取右舵轉向避讓後，提出求解最佳回舵時機(或回舵點)及用舵舵角的方法，使船舶順利回歸原航向。當碰撞危機解除，為使讓路船儘速用舵回歸原航向，本文利用操船模擬機實際操演及海洋地理資訊系統空間分析決策功能，考量航行安全及經濟效益，解算決定船舶最佳復航路徑。為模擬船舶各種會遇態勢，採用操船模擬機反覆實操，使會遇船舶不進入碰撞危險領域情況下，保持安全距離相互通過，接著，當讓路船採取避讓措施後，再用舵回歸原航向，操船模擬機實操航跡資料予以記錄並藉海洋地理資訊系統空間分析決策與空間資料篩選功能，將所有操演船舶航跡與原航線之橫距值做分析比較，經由統計分析與限制點之計算可快速找出最佳路徑模型輸入資料庫，決定船舶最佳復航路徑。

關鍵字：海洋地理資訊系統、回舵、碰撞危險領域、復航

ABSTRACT

To implement the purpose of course again after the give-way vessel taken action to avoid collision, this paper presents the novel method to solve the optimal timing and angle of ease rudder and midship according to the manoeuvrability index and inertia of vessel. When two vessels are approaching one another so as to involve risk of collision, the optimal timing and angle of rudder will be proposed for the give-way vessel according as the fuzzy CDD (Collision Danger Domain). As the risk of collision is relieved, the give-way vessel should be tried to sail back to the original course as soon as possible. In this paper, the optimal path of course again for the give-way vessel will be decided according to ship handling simulation and MGIS (Marine Geographic

¹ 國立臺灣海洋大學電機工程學系博士班 研究生 cmsu@mail.ntou.edu.tw

² 國立臺灣海洋大學運輸與航海科學系 slkao@mail.ntou.edu.tw

³ 國立臺灣海洋大學商船學系 教授 b0170@mail.ntou.edu.tw

⁴ 國立臺灣海洋大學電機工程學系 副教授 ccheng@mail.ntou.edu.tw

Information System).

Keywords : MGIS, Ease Rudder, Collision Danger Domain, Course Again

壹、緒論

長久以來，船舶避碰的相關研究受到航海界的高度重視，雖有許多成果發表，但船舶碰撞的問題並未徹底解決。Charter (1979)^[1]曾提到，隨著科技進步，雖有許多新技術不斷應用到船舶避碰中，但仍有無數船舶及人命因船舶碰撞而喪失。海上船舶碰撞事故主要歸因人為因素，尤以近岸航行時，船舶交通量密度高，碰撞事故更趨頻繁。因此，研究船舶避碰決策的目的正是為了避免避碰過程中的人為失誤，進而減少由於人為失誤造成的碰撞事故。航行員於船舶避碰決策中，通常要經歷船舶信息收集、會遇情勢決策、碰撞危度決策、避讓行動和避讓時機決策、避讓行動有效性和復航(Course Again)決策等過程，任何一個環節的決策失誤，都可能造成船舶碰撞事故的發生，可見建構最佳的船舶避碰決策系統，復航決策也是相當重要且不可忽視的環節。有關船舶避碰決策系統的研究，最早由 Fujii & Tanaka (1971)^[2]提出長軸為 8 倍船長及短軸為 3.2 倍船長的橢圓形船舶領域，分析特定航道或水域的交通流量。Goodwin (1975)^[3]提出三個非對稱的扇形船舶領域(Ship Domain)，探討開闊水域中依國際海上避碰規則航行的船舶所需的會遇距離，此領域以船中心為準，右舷扇形區(0°至 112.5°)半徑 0.85 浬，左舷扇形區(247.5°至 360°)半徑 0.7 浬，船艉扇形區(112.5°至 247.5°)半徑 0.45 浬。Davis *et al.* (1980)^[4]利用電腦模擬多船會遇的情勢，提出動界(Arena)的避讓行動區域，該區域是以某一點為中心的一個圓，配合船舶領域考慮避讓時機。Colley *et al.* (1983)^[5]利用飛航管制理論修正動界(Arena)模型，提出 RDRR (Range-to- Domain Over Range-Rate)模型，藉以決定船舶間合適的位置與時間，制定出避碰決策。Coenenet *et al.* (1980)^[6]利用專家系統的方法解決船舶避碰自動化的問題並提出模擬船舶避碰專家系統。Koyama & Yan (1987)^[7]將專家系統應用於船舶操縱，達到船舶避碰之目的。Hasegawa *et al.* (1989)^[8]將專家系統與碰撞推理方法結合，發展了船舶自動駕駛模糊專家系統(SAFES)。James (1986)^[9]以模糊邏輯為基礎，提出避碰操縱的決策模式。Hara & Hammer (1993)^[10]利用模糊邏輯來定義主觀碰撞危險度，根據此危險度來決定操船避讓措施。Su *et al.* (2009)^[11]針對各種船舶會遇態勢所應採取避碰決策做分析，依據各船型迴旋圈(Turning Circle)特性及用舵轉向所需縱距值(Advance)，在不考慮減速避讓情況下，針對船舶避碰決策採取各舵角最晚用舵點轉向建議，完成最佳避讓程序。為使船舶於採取避碰決策過程，除能保持航行安全上所必要的相關風險評估與避讓措施外，同時也應考慮不要因避讓措施導致偏離原航線太遠，因此，本文以碰撞危險領域(Collision Danger Domain, CDD)^[11]為基礎，界定船舶會遇時相互通過之安全距離，進而探討避碰行為結束後的復航行動決策問題。

一般而言，讓路船採取轉向避碰措施應使本船損失最小為最佳化，所謂損失最小係指本船安全會遇通過不發生碰撞，且因採取避碰措施後於復航決策過程所引起的位置偏移量最小及偏航操縱的時間最短。當船舶採取避碰決策並完成避讓行動後，為減少航行損失，應及時將船舶駛回原航向。當前船舶自動避碰系統研究中，大部份均著重於碰撞危度判斷、避碰措施決策及避讓行動，有關復航行動決策問題，文獻中涉及的較少。然而，完整的船舶避碰決策過程，復航決策也是重要的一個環節。岩崎寬希及原潔(1986)^[12]曾經在其研究中指出，當被避讓的目標船通過最近會遇點後，就應考慮恢復原航向或原航速。陳君義(1981)^[13]提出當讓路船採取避讓行動避讓完直航船後，若短時間內不再與他船有相遇，則應駛回原航線上。上述文獻中雖無提出相關的關係式，但做出結束避讓返回原航向時，兩船的相對距離與他船相對方位幾乎呈反比例關係之結論，並指出讓路船向右避讓時，當在左舷 $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 看到他船時，即可開始恢復原航向。原潔(1981)^[14]利用大阪大學 SR151 操船模擬機研究結束避讓後何時返回原航向，由具實船航海經驗者擔當操船者操演設計之不同情境，所採取的避碰行動以轉向為主，所操船舶的數據使用 VLCC、貨船及航向不穩定範圍為 5° 的船舶。本文提出船舶避碰決策，除一開始船舶會遇情勢研判和採取及時避碰措施外，更考慮到避讓行動結束後的復航決策問題。為求船舶最佳復航路徑，考量船舶採取避碰措施後所引起的位置偏移量最小及偏航操縱的時間最短的條件下，橫距(Transfer)即為本文決定最佳復航路徑之依據。採用美國 Ship Analytics 公司 PILOTSHIP 2000 操船模擬機操演迴旋圈(Turning Circle)可得各轉向舵角所需橫距資料並設計案例反覆實操，操船者為具航海實務經驗者擔當，所操船舶分別選用貨櫃船、散裝船、油輪及瓦斯船四種不同類型的船舶，針對海上船舶會遇情勢(迎艏正遇、交叉相遇、追越)，在不考慮減速避讓情況下，讓路船依據國際海上避碰規則(International Regulations for Preventing Collisions at Sea, COLREGS)的要求，使兩船保持相互通過安全會遇距離(依航海實務經驗界定 1 浬至 2 浬之間)進行轉向避讓，當他船通過本船時至最接近點時間為零(TCPA = 0)時，隨即回舵操縱船舶駛回原航線上。接著，利用海洋地理資訊系統(Marine Geographic Information Systems, MGIS)將實操船舶航跡資料寫入分析，透過地理資訊系統(Geographic Information Systems, GIS)空間分析決策與空間資料篩選功能，將所有操演船舶航跡與原航線之橫距值做分析比較，經由統計分析與限制點之計算可快速找出最佳路徑模型輸入資料庫，以做出回歸原航向的最佳用舵時機、用舵的舵角及正舵時機，即可解算得到船舶最佳復航路徑。未來可藉由遺傳演算法或類神經網路等方法，發展出最佳用舵點及用舵時機之自我學習模式，作為船舶自動避碰決策之應用。

有關本文之其餘部分編排架構如下：第二章節將介紹 MGIS 的概念及建立，並說明 GIS 空間分析決策功能。第三章節則藉操船模擬機實施迴旋圈試驗求得相關數據並進行案例操演。為驗證研究成果，第四章將設計不同會遇態勢和會遇環境，以 MGIS 為顯示平台，呈現操演模擬結果並做分析。最後，將在第五章針對本文做結論。

貳、MGIS 空間決策

2.1 海洋地理資訊系統

地理資訊系統(GIS)係利用現代科技記錄與處理地理現象的自動化系統，也是一套能處理地理空間資料的電腦軟硬體系統，依據使用者之需求，將所需的地理資料建置成地理資料庫，使用者擷取資料庫裡的資料、模式或知識準則等，透過軟體所提供的分析功能及模擬過程，將地理資料組合成有意義的資訊，以提供決策者規劃之用^[15]。相關學者利用 GIS 處理資料的工具、方法或概念，應用在海洋之相關資訊分析及展示上，稱之「海洋地理資訊系統(MGIS)」。利用 MGIS 處理空間資料、3D 顯像、圖層製作等功能並透過空間軸與時間軸做規劃及管理，結合船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)以傳遞船舶之即時動態資訊，建置成 MGIS 資料庫，可供擷取資料、模式或知識準則，藉以後續研究與分析。本文建立之 MGIS 係以大地座標系統 WGS84(World Geodetic System 1984)為座標系統之電子海圖，透過 SuperGIS 與 ArcMap 軟體的工具「加入圖層」將數位化後的海圖資料(*.shp)匯入平台，經傳統海圖數化、轉換空間資料及屬性資料庫建立等步驟，最後再予以整合成 MGIS^[16]。空間資料係以圖像化或視覺化方式展示並記錄空間資訊，而表達空間資訊所使用的空間資料結構分為向量式及網格式兩大類。網格式係將空間樣本以格網(Cells)方式切割，每一網格中僅能紀錄一筆數值(Value)以表示其網格中平均空間特性，網格中心點間之距離即為資料之解析度，而資料之表示方式以不同色階表示不同之數值；如圖 1，若將空間資訊簡化為點(Point)、線(Line)、面(Polygon)的資訊，也就是利用一連串的座標點位來形成點、線以及面的資料，並用這種結構來表達簡化後的空間資訊，即為 GIS 所使用的向量資料模式(Vector Data Model)。

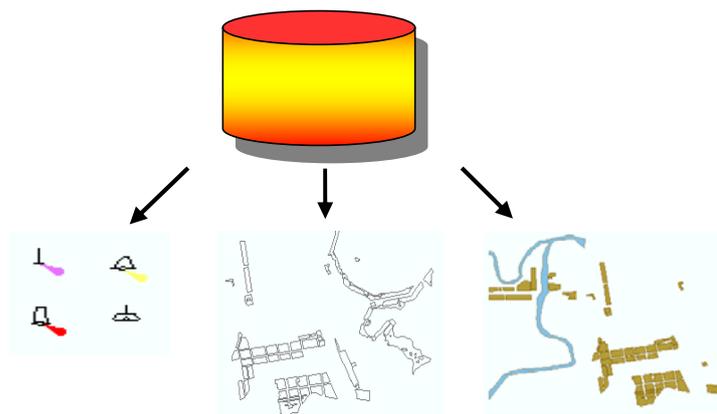


圖 1 空間資料轉換成點線面圖徵

2.2 空間決策

MGIS 係整合各項空間相關資料的收集、管理、分析、模擬、展示、預測等技術之工具，運用各項海洋資料庫及工具，將海洋世界的面貌與事件簡化，再將資料蒐集及整理後，套入電腦的分析，可以輔助管理者在做決策時之最佳判定。MGIS 主要透過套疊及空間分析功能，將原始地理資料轉換成數位化的形式表現，也就是利用電腦來表達空間的現象並能支援空間決策的資訊。套疊分析主要針對向量式資料將不同圖層間具有空間關聯性之資料疊合並將結果產生新資料。MGIS 在空間管理與資料分析上，提供時間軸與空間軸強大的分析與航跡最佳化之分析模組，其中，利用空間分析計算模組(Spatial Analysis Module)可求解航跡長度計算、用舵總時間統計、距碰撞危險領域距離解算及會遇船舶間及時相對應距離估算，提供快速且真實之絕對座標關係數據，在運用船舶避碰決策過程中，提供強大的分析功效，並針對未來航跡及原始定位提供預演計算與推演之功能，以利即時(Real Time)計算，套用多目標決策方法以求取最短時間、距離為推演依據，計算最佳路徑及提供預測前顯式圖層(Predict Ahead Displaying Layer)標示出船舶預計路徑推演，並提供用舵時間、用舵點及用舵角之參考值。若船舶會遇導致碰撞危機產生時，會遇船舶將依國際海上避碰規則之要求採取避讓措施，此時，當值航行員從避碰決策開始的整個避碰過程中，除保證兩船安全通過外，時刻都在考慮如何使本船由於採取避讓行動所引起的航向偏差最小及偏航時間最短的問題。因此，本文藉由模糊邏輯理論(Fuzzy Logic Theory)求解模糊碰撞危險領域(Fuzzy Collision Danger Domain, FCDD)^[11]，使兩船會遇時避免進入此領域，以確保船舶以安全距離相互通過。船舶為達最佳避讓行動並完成復航機制，圖 2 所示為船舶採取避碰決策最佳模擬狀況，圖中 FCDD 紅色區域代表碰撞危險領域，會遇船舶應避開此領域以免碰撞，單黑色實點處代表船舶採取用舵避讓點，當兩船碰撞危機解除後，雙黑色實點處代表船舶應回舵使船舶回歸原航向之復航點。

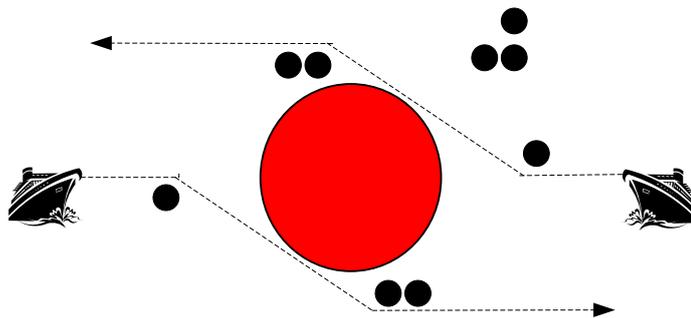


圖 2 船舶會遇藉 FCDD 避讓復航示意圖

由於轉向避讓每個人用舵時機及轉向舵角不盡相同，當碰撞危機解除，用舵返回原航向亦各有不同，故最佳復航路徑之決策即為重要的議題。本文為有效解算船舶最佳復航路徑，運用 MGIS 的即時面積解算功能、時間、空間演算機制、軌跡圖層套疊(Layer Mapping)與最大密度航跡區域(Maximum Density Track Region)展示，再藉由目視法或最大密度軌跡法描繪法，得出最佳預期航跡路徑規劃，並

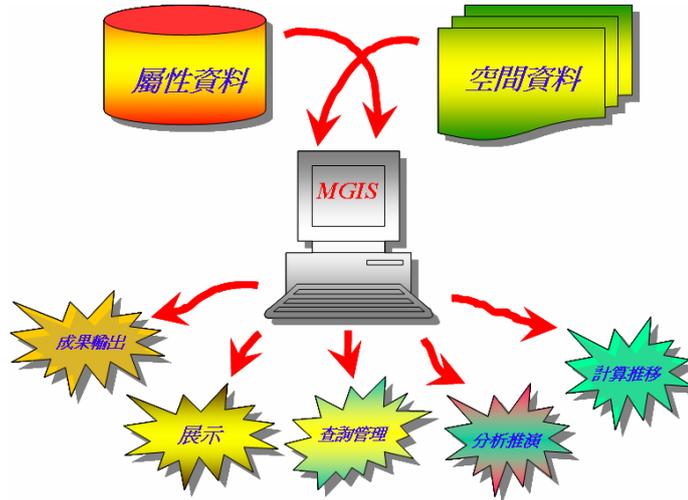


圖 3 MGIS 的功能

針對限制條件與參數值，逐一進行海洋地理資料的獲取、輸入、儲存、查詢管理、分析、展示、時間計算、空間演算、距離推演、空間推移及成果輸出，如圖 3 所示。基於 MGIS 可完整記錄會遇兩船時間點與位置點之即時資料，提供分析推演與計算之功能，經由統計分析與限制點之計算可快速找出最佳路徑模型輸入資料庫，以做出最佳復航用舵建議(包含用舵時間、用舵點及用舵角)。

2.3 空間分析計算法

當碰撞危機解除時，為求解最佳回舵時機(或回舵點)及用舵舵角的方法，使船舶順利回歸原航向，本文利用 MGIS 空間分析(Spatial Analyst)及航跡分析(Tracking Analyst)模組進行解算，如圖 4 所示。將實操船舶所得資料建檔後，透過 MGIS 空間分析計算模組的空間分析決策與空間資料篩選功能，可以解得 MGIS 圖層中相關起始點相對時間間格長度、特定線段起始距離與航跡距每一 CDD 最近距離之資料，以 TCPA=0 回舵參考點為起始點，船舶復航點為終點，分別計算船舶航行時間、航行距離及 CDD 最近點距離，將前三項條件分別排序加總後取得最小值，再將所有操演船舶航跡與原航線之橫距值做分析比較，經由統計分析與限制點之計算可快速找出最佳路徑模型輸入資料庫，以做出回

歸原航向的最佳用舵時機、用舵的舵角及正舵時機，即可解算得到船舶最佳復航路徑。

參、操船模擬機實操

先前已依不同船舶種類及其基本運轉特性與操縱性能等影響船舶用舵避碰因素，提出最佳船舶避碰決策機制，於讓路船前進航線上，針對採取避讓行動之各種轉向舵角用舵點提出建議，使讓路船航行當值人員於採取避碰決策時，得依現

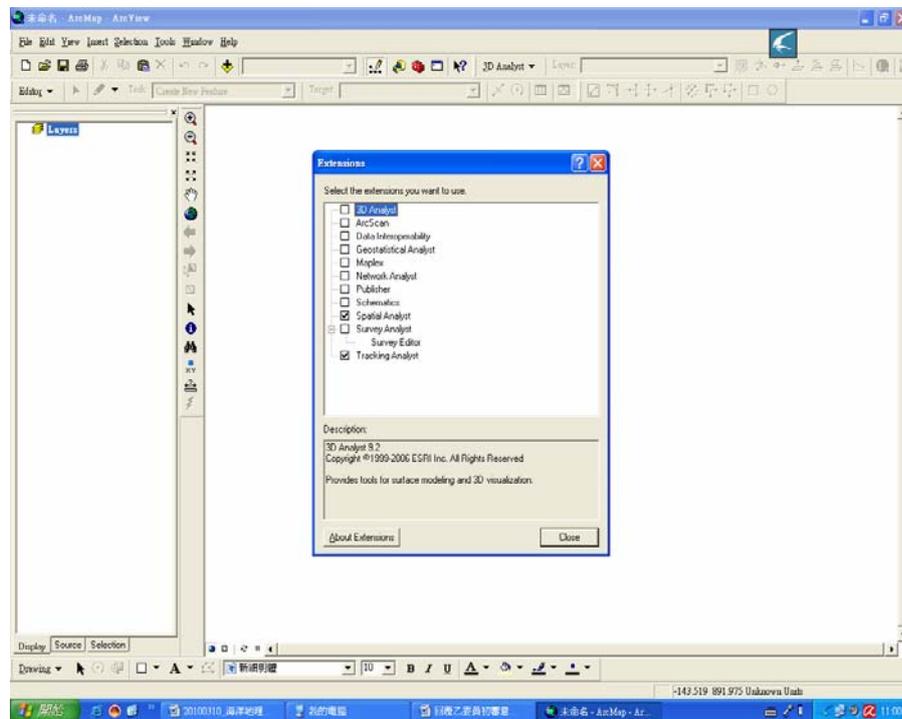


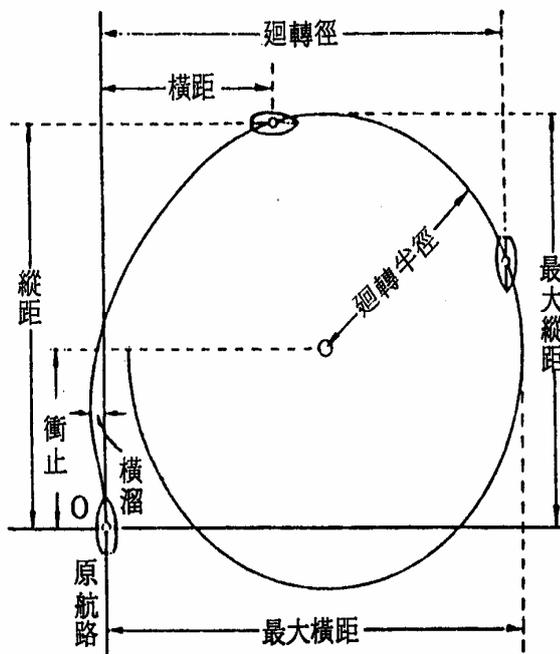
圖 4 MGIS 空間分析及航跡分析模組

況做出最佳用舵時機及用舵角度決策，使船舶得以順利化解碰撞危機^[11]。碰撞危機解除後，為探討船舶復航決策並得到最佳復航路徑，本文以船舶採取避碰措施後所引起的位置偏移量最小及偏航操縱的時間最短為考量因素，因此，船舶採取避讓行為產生偏離原航線之橫距(Transfer)值，即為完成最佳復航決策機制之依據。所需船舶相關資料，藉由操船模擬機實際操演迴旋圈試驗取得。

3.1 迴旋圈試驗

迴旋圈試驗即船舶以定速直線航行，用某一舵角並保持之，船舶將作迴旋

運動，結果如圖 5 所示。自開始操舵迴轉至艏向轉過任一角度時船體所移動的縱向距離，稱為縱距(Advance)，又稱前進距離。通常，船舶迴旋資料所稱的縱距是指船舶向轉過 90 度時的縱距。橫距(Transfer)為船舶轉舵後船之重心的橫移量，即當船舶向與原航向成 90 度時之橫距。本文不考慮減速避讓，以轉向避讓完成最佳船舶避碰決策機制，因此，縱距成為做出最佳用舵時機及用舵角度決策之依據，橫距則為完成最佳復航決策機制之依據。一般商船均以左滿舵及右滿舵實施迴旋圈試驗，求得縱距、橫距、迴旋初徑、迴旋直徑、滯距、迴旋時間等要素，以便評估船舶迴旋的程度和所需水域的大小，但無採取各舵角轉向避讓所需縱距資料及評估船舶復航決策所需之橫距值，建立空間關聯圖檔至 MGIS 資料庫。由於不同種類、結構和大小之船舶，其船舶操縱性指數(Manoeuvrability Index) T, K 值都不同(T, K 值可由船籍資料庫獲得)， T 及 K 分別代表船舶追隨性指數(Yaw Quick



資料來源：[17]

圖 5 迴旋圈

Responsibility Index)及迴旋性指數(Turning Ability Index)，而不同的 T, K 值將會影響到船舶的運轉操縱性能，當船舶的 T 值愈小時，船舶的操縱追隨性愈佳，反之則愈差；而當船舶的 K 值愈大時，船舶的操縱迴旋性愈佳，反之則愈差。為獲得船舶採取各舵角操縱所需縱距及橫距資料，本文使用台灣海洋大學操船模擬機 SA PILOTSHIP 2000 (如圖 6)及 4 艘船模，船模基本資料如表 1 所示，請具有豐富航海實務經驗者操船，海象設定無風無流條件下，分別就 4

艘船模利用各舵角實施迴旋圈試驗，並將試驗操演過程及相關數據記錄下來，以利後續研究分析。



圖 6 操船模擬機 SA PILOTSHIP 2000

表 1 船模基本資料

船舶種類及代碼	船長(m)	船寬(m)	吃水(m)	航向	航速(kn)
貨櫃船 ZCONT_50KSF	290	33	13	000	15
散裝船 ZBULK_90KSF	272.5	32.2	12.2	180	12
油輪 ZVLCC_300KSF	340	56	22	000	12
瓦斯船 ZLNG_137KSF	297.5	45.8	11	060	15

☆試驗方法設計：

本試驗針對 4 種不同種類及操縱性能的船舶分別實施各舵角的迴旋圈試驗，先依表 1 給定船舶航向、航速後開始操演，當開始用舵迴旋時，記錄開始用舵時間、用舵舵角及船舶位置(經緯度)，操演過程每隔 30 秒即記錄船舶經度、緯度、航向、船艏向、航速等數據，待船艏向轉過 90 度時，即結束操演並紀錄結束用舵時間、船舶位置(經緯度)及航向、船艏向、航速。將記錄數據存成 EXCEL 檔，再使用地理資訊軟體 ArcGIS 9.2 讀取並轉存成 MGIS 可讀取之 Shape 檔並解析計算，4 艘船模操縱各舵角迴旋圈試驗所求得縱距及橫距結果如表 2 所列。

表 2 各舵角迴旋圈試驗計算縱距及橫距結果

單位：m

舵角	貨櫃船	散裝船	油輪	瓦斯船
	縱距(Advance)			
R5°	2686	1975	1636	2469
R10°	2068	1482	1296	1821
R15°	1729	1266	1142	1574
R20°	1450	1049	1019	1358
R25°	1358	988	957	1296
R30°	1236	895	926	1280
R35°	1173	833	895	1235
橫距(Transfer)				
R5°	2068	1358	895	1266
R10°	1451	957	710	957
R15°	1173	741	617	833
R20°	957	617	556	710
R25°	833	556	525	648
R30°	741	525	463	617
R35°	710	494	463	556

R: 右舵

3.2 案例操演

由於航行當值人員操船習性及避讓觀念不同，當船舶用舵採取避讓措施後，復航機制之決策亦多有不同。為考量船舶採取避碰措施後所引起的位置偏移量最小及偏航操縱的時間最短，本文以橫距為最佳復航路徑決策之依據，配合 MGIS 空間決策能力，利用空間分析計算模組解算分析，提供快速且真實之絕對座標關係數據，分析比較並得到最佳復航路徑。為求船舶最佳復航路徑，採用美國 Ship Analytics 公司 PILOTSHIP 2000 操船模擬機設計案例反覆實操，操船者為具航海實務經驗者擔當，所操船舶分別選用貨櫃船、散裝船、油輪及瓦斯船四種不同類型的船舶，船模基本資料如表 1 所示，針對海上船舶會遇情勢(迎艏正遇、交叉相遇、追越)，在不考慮減速避讓情況下，讓路船依據國際海上避碰規則的要求，使兩船保持相互通過安全會遇距離(依航海實務經驗界定 1 浬至 2 浬之間)進行轉向避讓，當他船通過本船時至最接近點時間為零(TCPA = 0)時，隨即回舵操縱船舶駛回原航線上，待船舶航向穩定後即結束操演。操演過程每隔 30 秒即記錄船舶經度、緯度、航向、船艏向、航速等數據，直至操演結束並紀錄結束用舵時間、船舶位置(經緯度)及航向、船艏向、航速。將記錄數據存成 EXCEL 檔，再使用地理資訊軟體 ArcGIS 9.2 讀取並轉存成 MGIS 可讀取之 Shape 檔，即可顯示操演軌跡所有點位，圖 7 為迎艏正遇情形，船舶復航操演軌跡所有記錄點位。利用 MGIS 將實操船舶航跡資料寫入

分析，透過地理資訊系統空間分析決策與空間資料篩選功能，將所有操演船舶航跡與原航線之橫距值做分析比較，經由統計分析與限制點之計算可快速找出最佳路徑模型輸入資料庫，即可解算輸出船舶最佳復航路徑。

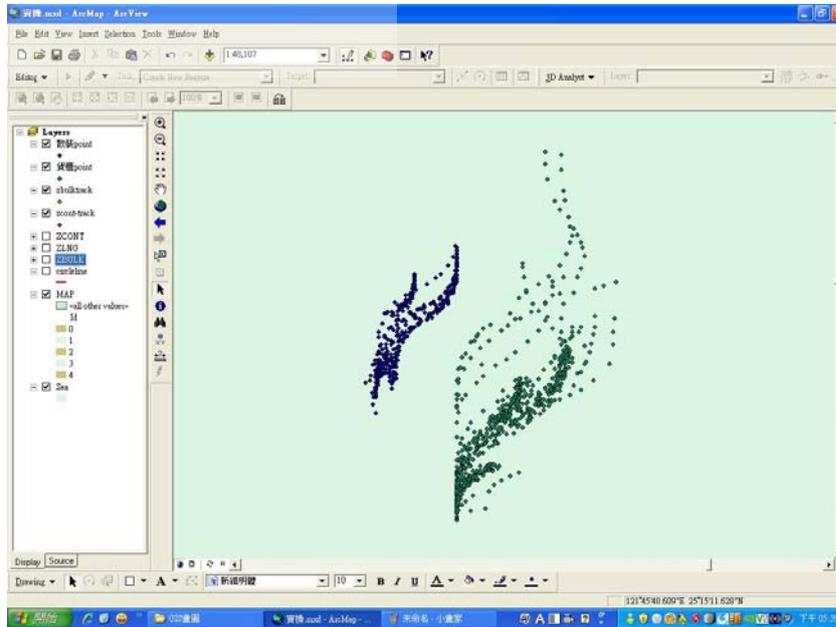


圖 7 復航操演軌跡(迎船正遇情形)

肆、模擬結果與分析

為驗證研究成果，分別設計不同會遇態勢和會遇環境進行模擬，將解算求得船舶最佳復航路徑，利用 MS Visual Studio 2005 搭配 ESRI ArcGIS Engine Runtime 9.2 撰寫系統程式，整合 AIS/MGIS 並以 MGIS 為顯示平台，根據航行船舶會遇情勢：迎船正遇、交叉相遇及追越三種態勢模擬船舶避碰決策之最佳機制。船舶避碰決策通常要經歷航行信息評估、會遇態勢研判、碰撞危險度分析、避讓行動及時機決策、避讓行動有效性決策及復航決策等過程。藉由本文提出的船舶避碰決策系統，當兩船碰撞危機解除後，以橫距做為船舶回舵復航決策之依據，透過海洋地理資訊系統空間分析決策與空間資料篩選功能，將所有操演船舶航跡與原航線之橫距值做分析比較，經由統計分析與限制點之計算可快速找出最佳路徑模型輸入資料庫，即可解算得到船舶最佳復航路徑。以下為各模擬案例之船舶會遇情境說明及模擬結果，模擬海域為基隆外海，假設海象 5 級條件下，船舶資料如表 1 所示。

CASE 1：迎船正遇

ZCONT_50KSF 及 ZBULK_90KSF 兩艘船舶會遇，分別以 CONT 及 BULK

表示於圖 8。系統研判兩船於 Collision point 會有碰撞發生，兩船屬迎艏正遇態勢，均應各自採取向右轉向之避讓措施。此時，藉模糊邏輯理論解算到直徑 1.5 哩的碰撞危險領域(CDD)，利用表 2 縱距資料可得到轉向舵角用舵點位置，圖 8 顯示 CONT 於 A₁ 用舵點採取 R25° 及 BULK 於 A₂ 用舵點採取 R15° 各自向右轉向避讓，此時

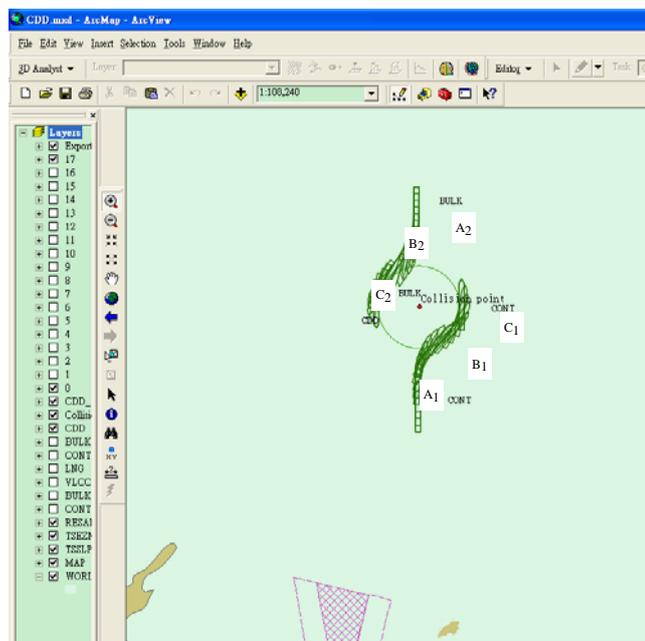


圖 8 兩船會遇(迎艏正遇)之最佳船舶復航決策

兩船會遇最接近距離 CPA 值會漸漸增加，TCPA 值會逐漸縮短，當 TCPA = 0 時(CONT 轉向至 B₁ 點；BULK 轉向至 B₂ 點)，即表示兩船安全會遇通過已無碰撞危險，接著，即應回舵使船舶回歸原航向，兩船各依表 2 橫距資料及 MGIS 空間決策分析，利用解算得到之船舶最佳復航路徑，CONT 自 B₁ 點回舵復航至 C₁ 點穩定航向，BULK 自 B₂ 點回舵復航至 C₂ 點穩定航向，使系統完成最佳回歸原航向之復航決策機制。

CASE 2：交叉相遇

根據 1972 年國際海上避碰規則，當船舶有會遇情況產生時，通常讓路船需依據左紅右綠之規定採右舵之轉向避讓動作於直航船。本案例模擬船舶交叉相遇情況下，左方來船應採取之避碰決策。圖 9 顯示 ZVLCC_300KSF (以 VLCC 表示)左前方有一來船 ZLNG_137KSF (以 LNG 表示)並研判於 Collision point 會有碰撞發生，兩船屬交叉相遇態勢，VLCC 見 LNG 右舷綠燈，為直航船，保持原航向原航速繼續往前航行，LNG 見 VLCC 左舷紅燈，屬讓路船，需依規定採右舵之轉向避讓動作於直航船。此時，藉模糊邏輯理論解算到直徑 1.62

湮的碰撞危險領域(CDD)，利用表 2 縱距資料可得到轉向舵角用舵點位置，圖 9 顯示讓路船 LNG 於用舵點 A 採取 R25°避讓轉向，當 LNG 轉向至 B 點時，TCPA 為 0，表示碰撞危機解除確認可由直航船 VLCC 船艙通過後，即依表 2 橫距資料及 MGIS 空間決策分析，利用解算得到之船舶(LNG)最佳復航路徑，即 LNG 自 B 點回舵復航至 C 點航向穩定，使系統完成最佳回歸原航向之復航決策機制。

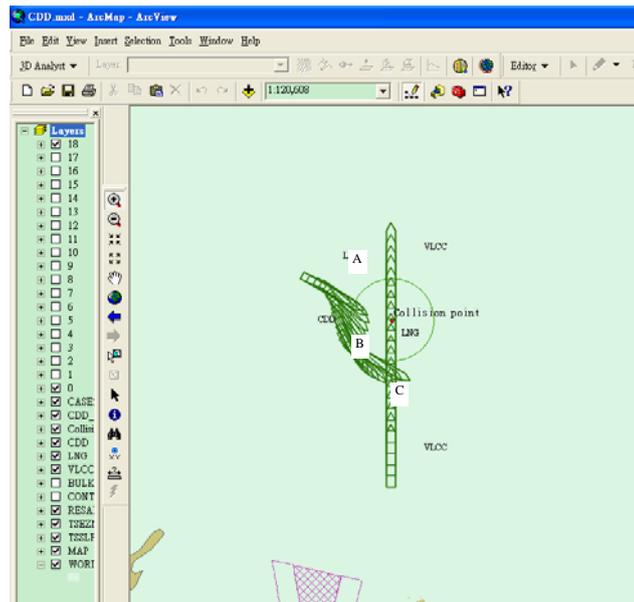


圖 9 交叉相遇(左方來船)之最佳船舶復航決策

CASE 3：追越

ZCONT_50KSF 及 ZVLCC_300KSF 兩艘船舶，圖 10 分別以 CONT 及 VLCC 表示。系統研判於 Collision point 會有碰撞發生，因兩船屬追越態勢，VLCC 為被追越船，屬直航船，應保持原航向原航速繼續往前航行，CONT 為追越船，屬讓路船，應採取向右轉向之避碰決策，由 VLCC 右舷追越。此時，藉模糊邏輯理論解算到直徑 1.56 浬的碰撞危險領域(CDD)，利用表 2 縱距資料可得到轉向舵角用舵點位置，圖 10 顯示追越船 CONT 於用舵點 A 採取 R25°由被追越船 VLCC 右舷追越之最佳用舵點及用舵時機之決策機制，當 CONT 轉向避讓至 B 點時，使兩船保持足夠安全追越距離，再依表 2 橫距資料及 MGIS 空間決策分析，利用解算得到之船舶(CONT)最佳復航路徑，即 CONT 自 B 點回舵復航至 C 點航向穩定，且順利追越 VLCC，完成做出最佳回歸原航向之復航決策機制。

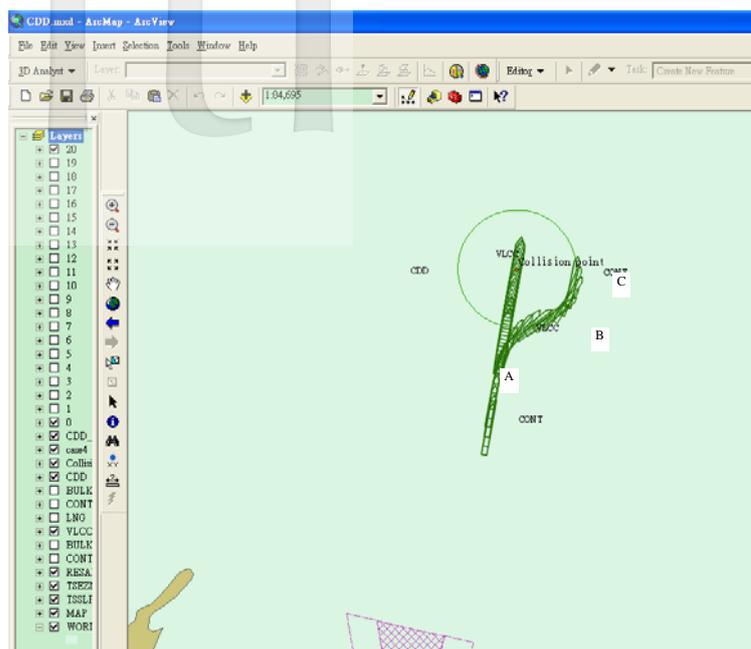


圖 10 兩船會遇(追越)之最佳船舶復航決策

伍、結論

本文利用操船模擬機實際操演及海洋地理資訊系統空間分析決策功能，考量航行安全及經濟效益情況，完成船舶最佳復航決策機制。船舶避碰決策通常要經歷航行信息評估、會遇態勢研判、碰撞危險度分析、避讓行動及時機決策、避讓行動有效性決策及復航決策等過程，當船舶採取避碰決策並完成避讓行動後，為減少航行損失，應及時將船舶駛回原航向。本文利用 MS Visual Studio 2005 搭配 ESRI ArcGIS Engine Runtime 9.2 撰寫系統程式，整合 AIS/MGIS 並以 MGIS 為顯示平台，根據航行船舶會遇情勢(追越、交叉相遇及迎艏正遇)模擬船舶避碰決策之最佳機制，以碰撞危險領域界定船舶會遇時相互通過之安全距離，橫距做為船舶回舵復航決策之依據，將操船模擬機反覆操演的船舶航跡，透過海洋地理資訊系統空間分析決策與空間資料篩選功能，將所有操演船舶航跡與原航線之橫距值做分析比較，經由統計分析與限制點之計算可快速找出最佳路徑模型輸入資料庫，並做出回歸原航向的最佳用舵時機、用舵的舵角及正舵時機，解算得到船舶最佳復航路徑。船舶採取各式舵角轉向所需的前進縱距及橫距值，可藉操船模擬機實際操演得到。本系統將可應用於 VTS 與船舶，以利船舶當值人員採取避碰措施時作為回舵之參考，VTS 管制人員能透過 AIS 即時監視船舶動態，以維護港區或近岸的航行安全。未來研究方向，可藉由遺傳演算法或類神經網路等方法，發展出最佳用舵點及用舵時機之自我學習模式，作為船舶自動避碰決策之應用。

誌謝

本文為行政院國家科學委員會專題研究計畫(編號: NSC 96-2416-H-019-003-MY2)之部份成果, 承蒙補助, 特此致謝。

參考文獻

1. Charter, D. B., "Determination of Risk of Collision Using Twentieth Century Techniques", *Navigation (Journal of the Institute of Navigation)*, Vol. 26, No. 3, pp. 237-243, 1979.
2. Fujii, Y. and Tanaka, K., "Traffic Capacity", *The Journal of Navigation*, Vol. 24, pp. 543-552, 1971.
3. Goodwin, E. M., "A Statistical Study of Ship Domain", *The Journal of Navigation*, Vol. 28, No. 3, pp. 328-344, 1975.
4. Davis, P. V., Dove, M. J., and Stockel, C. T., "A Computer Simulation of Marine Traffic Using Domains and Arenas", *The Journal of Navigation*, Vol. 33, No. 1, pp. 215-222, 1980.
5. Colley, B. A., Curtis, R. G., and Stockel, C. T., "Maneuvering Times, Domains and Arenas", *The Journal of Navigation*, Vol. 36, No. 2, pp. 324-328, 1983.
6. Coenen, F. P., Sneaton, G. P., and Bole, A. G., "Knowledge-based Collision Avoidance", *The Journal of Navigation*, Vol. 42, No. 2, pp. 107-116, 1980.
7. Koyama, T. and Yan, J., "An Expert System Approach to Collision Avoidance", *8th Ship Control System Symposium*, Hague, 1987.
8. Hasegawa, K., Kouzuki, A., Muramatsu, T., Komine, H., and Watabe, Y., "Ship Auto-navigation Fuzzy Expert System (SAFES)", *Journal of the Society of Naval Architecture*, Vol. 166, 1989.
9. James, M. K., "Modeling the Decision Process in Computer Simulation of Ship Navigation", *The Journal of Navigation*, Vol. 39, No. 1, pp. 32-47, 1986.
10. Hara, K. and Hammer, A., "A Safe Way of Collision Avoidance Maneuver based on Maneuvering Standard Using Fuzzy Reasoning Model", *MARSIM 93, St. Johns*, pp. 163-170, 1993.
11. Su, C. M., Chang, K. Y., and Cheng, C. Y., "Fuzzy Decision of Collision Avoidance for Vessels", *International Symposium on Marine Science and Technology 2009 (ISMST 2009)*, Kaohsiung, Taiwan, pp. 47-54, 2009.
12. 岩崎寬希、原潔, "使用模糊推論的避碰操船模型", 日本航海學會論文集, 第 75 卷, 頁 69-77, 1986。
13. 陳君義, "自動避碰系統計算原理", 上海海運學院學報, 第 2 卷, 第 4 期, 頁 15-23, 1981。
14. 原潔, "操船模擬器的避讓操縱研究—II", 日本航海學會論文集, 第 64 卷, 頁 79-86, 1981。
15. 林金樹, "GIS 概論與 MajorGIS 快速入門", 新文京開發出版公司, 民國 93 年。

16. 邱柏翰、高聖龍、蘇健民，“海洋地理資訊系統於電子海圖之研究”，地理資訊系統季刊，第3卷，第1期，頁16-20，民國98年。
17. 廖坤靜，“船舶操縱”，教育部，民國95年。