

OAC-110-003 (研究報告)

智慧海上航程規劃暨風險評估機制

(正式報告)

海洋委員會補助研究

中華民國 110年 10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。」

OAC-110-003 (研究報告)

智慧海上航程規劃暨風險評估機制

(正式報告)

學校：國立高雄科技大學

指導教授：李仁軍教授

學生：王邦瑞

研究期程：中華民國110年4月9日至110年11月30日

研究經費：新臺幣捌萬元

海洋委員會補助研究

中華民國 110年 10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。」

目 次

表 次	ii
圖 次	iii
摘 要	iv
一、計畫摘要	1
1.1 前言	1
1.2 研究目的	5
1.3 研究方法	7
1.4 研究過程	13
1.5 結果與討論	19
1.6 結論	25
二、計畫進度說明及經費執行情形	26
2.1 計畫進度說明	26
2.2 經費執行情形	27
參考資料	28

表 次

表1 海上區域交通風險評估表	17
表2 計畫進度說明表	26
表3 經費累計執行情形表	27

圖 次

圖1：基於AIS船舶自動識別系統所收集之海上船舶移動軌跡資料	3
圖2：根據GPS位置紀錄器收集之行車軌跡資料	3
圖3：海上航路規劃推薦系統架構	14
圖4：移動轉換模型示意圖	18
圖5：基於真實船舶移動軌跡資料進行航行軌跡模式探勘結果	20
圖6：交通密度量化分析	21
圖7：交通衝突量化分析	21
圖8：交通風險量化分析	21
圖9：航路規劃方法完成率比較	22
圖10：航路規劃結果之風險比較	23
圖11：航路規劃結果之航路長度比較	24

摘要

關鍵詞：船舶軌跡資料、航行軌跡模式探勘、海上交通、風險評估、海上航路規劃推薦。

目前的海上航路規劃方法都是船員依據所經海域的航行指南與船員自身的航行經驗，以進行航路規劃。對於沒有相關航行資訊或經驗的海域，航海人員僅能根據海圖所提供的水深、礁石、沉船位置等環境資料，在水深無虞的狀況下，採取最短距離進行航路規劃。然而，這樣的航路規劃方式，並沒有考量航程上所經海域之交通環境情形，對於航行安全與航程時間所產生的影響與面臨的風險。雖然規劃的航路是最短路徑，但是卻航經高交通密度與流量複雜的區域時，就可能因為考量航行安全採取低速航行，或經常遭遇相互避碰的情形而繞道航行，在航程上不但面臨航行安全的高風險危機，亦有可能因而增加航行時間，使得所規劃的航路在實際航程上，反而不符合安全且經濟的需求。

為了克服海上自由移動空間的環境，從複雜且具不確定性的船舶移動軌跡資料中，能夠有效借助其他大多數船舶的真實航行經驗，並同時考量海上交通可能發生衝突，而產生安全風險影響的方法來規畫航路，本計畫提出基於航行軌跡模式探勘結合海上航程風險評估的航路推薦架構（Navigation Pattern Mining and Routing Algorithm with Risk

Assessment)。為了讓船舶在安全的環境下航行，也就是推薦的移動軌跡模式必須由真實軌跡所產生，並作為海上航路規劃的基本依據，我們提出船舶航行軌跡模式（Navigation Pattern）的概念與設計研發有效之探勘技術，建立以真實軌跡模式為基礎的海上航行路網，藉以建構基於船舶航行軌跡之海上航路規劃技術；更進一步從收集的軌跡資料裡，找出對於海上交通可能發生衝突而產生安全風險影響的海上交通關鍵區域（Region of Risk），針對交通風險提出評估與量化的方法，並將其融入航路規劃的考量因素，協助分析航程中可能面臨的風險，藉以發展結合航程風險評估之海上航路規劃推薦系統。

本計畫藉由巨量AIS船舶軌跡資料，進行結合航程風險評估之海上航路規劃推薦系統架構之研發，同時獲得具有學理與實務價值的研發成果。我們克服海上自由移動空間與軌跡資料不確定性的問題，能夠從收集的巨量船舶軌跡資料中，挖掘擷取其他船舶的航行經驗，建立以真實軌跡模式為基礎的海上航行路網，藉此當作海上航路規劃的基本依據；另一方面，經由海上關鍵交通區域的探勘技術研發，了解特定區域的船舶交通狀況，除據以強化海上交通之監控管理外，並將其風險評估融入航路規劃的考量因素，發展一個同時考量經濟與低風險航程的航路規畫推薦系統架構，提供一個有效率與提升航行安全的E化海上航路規劃推薦服務。

一、計畫摘要 (計畫的前言、研究目的、研究方法及過程、結果與討論及結論等簡要說明)

1.1 前言

海上船舶要從甲地航行到乙地，經濟航路與航程安全是海上航路規劃的最基本的需求。目前的海上航路規劃方法都是船員依據所經海域的航行指南與船員自身的航行經驗，以進行航路規劃。對於沒有相關航行資訊的海域，僅能根據海圖所提供的水深、礁石、沈船位置等環境資料，在水深無虞的狀況下，採取最短距離進行航路規劃。這樣的航路規劃方式，並沒有考量航程上所經海域之交通情形對航行安全與所需航程時間的影響。例如為了達到經濟航行的目的，船員在規劃海上航路時，選擇水深環境安全許可的最短路徑航行。雖然規劃的航路是最短路徑，但是卻航經高交通密度區域與交通流複雜的區域時，就可能因為考量航行安全採取低速航行，或經常遭遇相互避碰的情形而繞道航行，在航程上不但面臨航行安全的高風險危機，亦有可能因而增加航行時間，使得所規劃的航路在實際航程上反而不符合安全且經濟的需求。

近年來由於感測器與定位技術的進步發展，目前海上船舶的移動位置可以藉由船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS) 而大量獲得，這些隨時間變化的移動位置便組成了海上船舶的移動軌跡。由於AIS移動軌跡紀錄了船舶的實際移動行為與海上交通狀況，我們若是能從收集的巨量船舶軌跡資料中，挖掘出其他船舶的航行經

驗，便能夠藉此作為海上航路規劃的基本依據；更進一步，藉由探勘船舶軌跡相互之間的影響，我們能夠分析了解不同區域的海上交通狀況，將交通與環境對於航程上安全的影響，列入航路規劃的參考因素，更能提升與維護航行安全。然而，海上船舶軌跡資料探勘相較於陸上行車軌跡資料探勘更具困難度。海上的移動環境對於船舶而言是個自由的移動空間，不同於陸地上的車輛可跟循路網移動[1][2]，船舶在海上移動沒有實際道路可循[3][4]，在航行海域水深符合船舶航行安全的條件下，船舶皆可自由航行移動。圖1所示為針對台灣附近某一海域收集的海上船舶軌跡資料，相較於圖2陸上所收集之行車軌跡資料，海上船舶不像陸上車輛之移動受路網限制，所產生之軌跡資料更加複雜。所以在海上船舶軌跡資料中，除了面對軌跡資料於收集時所產的非同步性與不確定性外，遂如何在自由移動的空間與複雜的環境下，正確與有效地從大量船舶移動軌跡資料中進行軌跡資料探勘，找出我們需要的知識並將其應用於我們的研究問題上，將是本計畫之研究所面臨的挑戰。

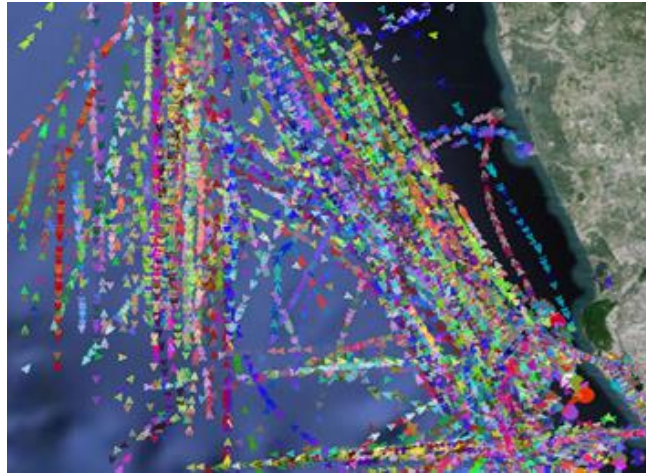


圖1 基於AIS船舶自動識別系統所收集之海上船舶移動軌跡資料



圖2 根據GPS位置紀錄器收集之行車軌跡資料

為了克服海上自由移動空間的環境，從複雜且具不確定性的船舶移動軌跡資料中，能夠有效借助其他大多數船舶的真實航行經驗，並同時考量海上交通可能發生衝突，而產生安全風險影響的方法來規畫航路，本計畫提出基於航行軌跡模式探勘結合海上航程風險評估的航路推薦架構(Navigation Pattern Mining and Routing Algorithm with Risk

Assessment)。為了讓船舶在安全的環境下航行，也就是推薦的移動軌跡模式必須由真實軌跡所產生，作為海上航路規劃的基本依據；更進一步從收集的軌跡資料裡，找出對於海上交通可能發生衝突，而產生安全風險影響的海上交通關鍵區域，並將其融入航路規劃的考量因素，藉以協助分析航程中可能面臨的風險，發展結合航程風險評估之海上航路規劃推薦系統，以提供同時兼具經濟與低風險航程的航路規劃推薦服務。

1.2 研究目的

此次計畫為提供船舶海上航路規劃推薦服務，藉由巨量AIS船舶軌跡資料，深入研究並發展基於船舶移動軌跡模式與結合航程安全風險評估的航路規劃推薦系統。為了達到海上航路規劃推薦服務為目標，發展的架構與技術必須達到兩個目標：(1)為了使推薦的航路能夠讓船舶在安全的環境下航行，我們借助其他大多數船舶的真實航行經驗來推薦，也就是推薦的移動軌跡模式必須由真實軌跡所產生；(2)發展海上交通風險區域探勘技術，找出船舶航行軌跡模式中的時空因素與相互衝突對於航路規劃與交通安全的影響，以更進一步分析特定區域的船舶交通狀況，找出存在高交通密度或衝突等風險情況的海上交通關鍵區域，並建立風險量化的評估方法。然而，除了面對軌跡資料於收集時所產的非同步性與不確定性外，遂如何在自由移動的空間與複雜的環境下，正確與有效地從大量船舶移動軌跡資料中，探勘出我們所需要的知識，是本計畫研究的重點。

最後基於兩個研究目標成果，我們將建構一個同時考量經濟與低風險航程的航路規劃推薦服務系統架構，將克服海上自由移動空間的問題，發展一個有效之真實軌跡模式探勘技術，能夠從收集的巨量船舶軌跡資料中，挖掘擷取其他船舶的航行經驗，建立以真實軌跡模式為基礎的海上航行路網，藉此當作海上航路規劃的基本依據；另一方面，經由海

上關鍵交通區域的探勘技術研發，了解特定區域的船舶交通狀況，除據以強化海上交通之監控管理外，並將其風險評估融入航路規劃的考量因素，研發一個有效率與提升航行安全的E化海上航路規劃推薦服務。

1.3 研究方法

本計畫研究過程乃基於海上船舶識別系統(AIS)所產生的移動軌跡資料，進行結合航程安全風險評估的航路規劃推薦技術之研發。嘗試從實際的船舶移動軌跡資料裡，找出代表航行經驗的船舶航行軌跡，建立以真實軌跡模式為基礎的海上船舶航行路網，藉以研發基於船舶航行軌跡模式之海上航路規劃技術；我們更進一步從收集的軌跡資料裡，找出對於海上交通可能發生衝突而產生安全風險影響的海上交通關鍵區域，並將其融入航路規劃的考量因素，藉以協助分析航程中可能面臨的風險，發展結合航程風險評估之海上航路規劃推薦系統，以提供同時兼具經濟與低風險航程之航路規劃推薦服務。相關研究方法包括軌跡資料探勘、交通衝突分析偵測與旅程路徑規劃推薦，茲分述如下：

(1) 軌跡資料探勘

本計畫嘗試從實際的船舶移動軌跡資料裡，探勘出代表航行經驗的船舶航行軌跡，建立以真實軌跡模式為基礎的海上船舶航行路網，藉以研發基於船舶航行軌跡模式之海上航路規劃技術。軌跡資料探勘的核心問題即是從軌跡資料裡找出物體的移動行為，其基本假設就是在歷史軌跡資料中，存在著數串由位置所組成的位置隨時間變化的時空序列，這些位置序列不斷地重複出現在歷史資料中；這樣的位置與位置之間的關係所組成的序列就視為一種軌跡模式，能夠用來代表物體的移動習慣行

為。基本上軌跡資料是由隨時間所變化的位置點所組成，同時具有時間與空間的資料結構特性，復加上軌跡資料的非同步取樣與位置資訊所產生的不確定性，傳統的資料探勘技術無法直接應用在軌跡移動行為的探勘上[5]。為了解決軌跡資料非同步與不確定性的問題，[5][6][7][8]提出以空間區域（Spatial Region）取代準確的位置（Location）的概念，將軌跡移動行為定義為由一串空間區域所組成的序列模式（Sequential Pattern）。每個空間區域是以一個密度群集（Dense Cluster）來表示，簡單來說，也就是由一群在空間上非常密集的資料點所形成的區域，或稱之為頻繁區域（Frequent Region）。經過這樣的轉換程序就可以將原始以位置序列為基礎型態的移動軌跡轉換成以區域序列表示的軌跡，再利用資料探勘的方法來找出存在於歷史資料中頻繁出現的軌跡模式（Trajectory Pattern）。另外，兩個具有順序的軌跡資料點可以轉換成軌跡線段表示，所以移動軌跡也可視為由線段所組成的序列進行移動行為探勘[9][10][11]。在[9]的研究中，提出將移動軌跡分段與群集（Partition-and-Group）的方法找出移動行為。在分段步驟中，先將以位置資料點所組成的原始軌跡資料轉換成軌跡線段表示；然後進入群集步驟，利用密度群聚的方法，將相似的軌跡線段分類成一群。最後，所例找出每個區域中具有代表性的線段以組成代表性軌跡，來表示移動物體的移動行為。因為軌跡模式代表著頻繁的移動行為

，所以我們可以將軌跡模式探勘應用在未來的移動位置預測[12][13]，找出頻繁旅遊路線以提供旅遊推薦[14][15][16][17]，藉以進行交通狀況分析與建模[18][19]；或是藉由尋找具有相似移動習慣的使用者（Movement-based Community），進行基於移動行為模式的社交連結探勘與活動推薦等社群服務[20][21][22]。

(2) 交通衝突分析與偵測

為了要發展結合航程風險評估之海上航路規劃推薦系統，我們更進一步從收集的軌跡資料裡，找出對於海上交通可能發生衝突，而產生安全風險影響的海上交通關鍵區域，並將其融入航路規劃的考量因素，藉以協助分析航程中可能面臨的風險。傳統的交通安全評估是根據交通事故（Accident）發生事件來進行統計與分析。然而，交通事故實際發生事件的收集資料具有小樣本及高隨機的特性，要根據實際事故發生來進行交通安全評估並不容易。為了能夠獲得大量且具有交通事故危險的特性，交通衝突的概念就被發展出來[23][24][25]，交通衝突來自於道路使用者不安全的交通行為，其發展結果有可能導致交通事故發生。兩者的相異在於交通衝突沒有實質上的事故損害發生，但是存在著與交通事故相似的發生原因與過程。所以，我們可以利用相較大量的交通衝突來代表少量的交通事故，藉以進行交通安全的分析與評估。

目前交通衝突的相關研究多著重於陸上交通衝突[26][27]，基本的

方法先依據兩個移動車輛的相對位置，考量事故發生時間（Time of accident）與衝突速度（Conflicting speed）兩個影響因子，然後計算可能的碰撞點與評估衝突事件發生的嚴重程度，以判斷交通衝突發生與否。但是由於陸上交通與海上交通的環境與移動特性（交通工具的操控方式）並不相同，所以陸上交通衝突的評估方法並無法完全套用在海上船舶間的交通衝突評估，例如陸上車輛行駛限制在路網道路裡，交叉路口通常是交通衝突最容易發生的地方，而海上船舶若水深安全無虞的情況下，在開闊海域可以自由航行，交通衝突可能發生的區域範圍更大；陸上行駛的車輛具有煞車裝置可以讓車輛在短時間內完全停止避碰，船舶只能利用減速或倒俾來減速，很難在極短時間內讓高速船舶瞬間停止，遂多採用轉向來避碰。雖然目前有少數相關文獻針對海上交通衝突進行研究[28][29][30]，但是提出的方法僅針對兩船舶間於限制水域（港口航道）所發生的交通衝突進行研究。本計畫所提出的海上交通衝突探勘問題，是針對多船於開闊海域發生交通衝突的情形進行分析與探勘，更進一步針對所可能產生的交通風險進行評估與量化，以發展一套有效的海上交通衝突探勘與風險評估機制，將其融入航路規劃的考量因素，藉以協助分析航程中可能面臨的風險與產生符合低風險的海上路徑規劃推薦。

(3) 旅程路徑規劃推薦

本計畫基於研發軌跡資料探勘技術，找出船舶航行頻繁移動行為與軌跡間之時空關係所產生的交通風險，最後實現結合航程風險評估之海上航路規劃推薦系統。所以最主要發展目標，即為發展能夠提供同時兼具經濟考量與低風險航程之航路規劃推薦服務，以滿足航路規劃使用者的基本需求。目前有許多的研究專注於利用軌跡資訊、打卡資訊、相片等社群媒體資料中，探勘使用者移動模式，這些移動模式代表著使用者的經驗，能夠藉此當作人們旅遊移動的依據，進而根據使用者的需求推薦適合使用者的旅程路徑。

旅程路徑規劃首先必須從軌跡資料中探勘出興趣的區域 Regions-of-Interests (ROIs)，並依照熱門度給分數，這些區域是使用者願意停留的點，也代表著這些地點是可能的景點，然後找出ROIs之間的關係建立關係圖，藉以應用於旅遊路徑規劃[2][14][17][31]。給定一個起始點與目的地，[32][33][34][35]把焦點放在規劃起始點到指定目的地最短最快的旅程。在[36][37]的研究中，在於推薦一個在時間限制內能連接起始點與終點的旅遊路線。此外，有部分的研究[38][39]針對分析來自社群照片（例如：Flickr）的地理標籤。他們提出了其他從照片資訊萃取ROIs與分析照片後產生旅遊路線的方法。[40]則是依據打卡資料並經過分析得到路徑相關的拜訪時間與交通時間等訊息。然而，這些研究所提出的方法並無法解決我們所提出的問題，因為所產生的旅程路

線只顯示出ROI的拜訪順序，然後依據現成的道路路網，藉由最短或最快路徑演算法產生推薦路徑；而海上的移動空間沒有所謂的海上道路，我們需要詳細的航行路線來進行航路規劃。

1.4 研究過程

為了達到結合航程風險評估海上航路規劃推薦服務為目標，我們提出如圖3所示基於航行軌跡模式，並結合海上航程風險評估的航路規劃推薦系統架構，其中包含（1）航行軌跡模式探勘模組、（2）海上區域交通風險偵測模組與（3）風險評估航路規劃模組等3個模組；給予一特定區域根據AIS系統所收集之大量船舶移動軌跡資料，本架構首先藉由航行軌跡模式探勘模組（Maritime Navigation Pattern Mining）找出大部分船舶在航經本區域之頻繁發生的相似軌跡，藉以定義潛藏在自由航行環境下可能存在的海上航行軌跡模式（Navigation Pattern）；另外，根據不同子區域內之海上交通情形，經由海上區域交通風險偵測模組（Region-based Traffic Risk Discovery）進行分析、評估與量化各子區域可能面臨的航行交通風險（Region of Risk），最後，根據使用者查詢之出發點（Start）與目的點（Destination），經由風險評估航路規劃模組產生結合海上航程風險評估來規畫航路（Navigation Plan, NaviP）。計畫研究過程列述如下：

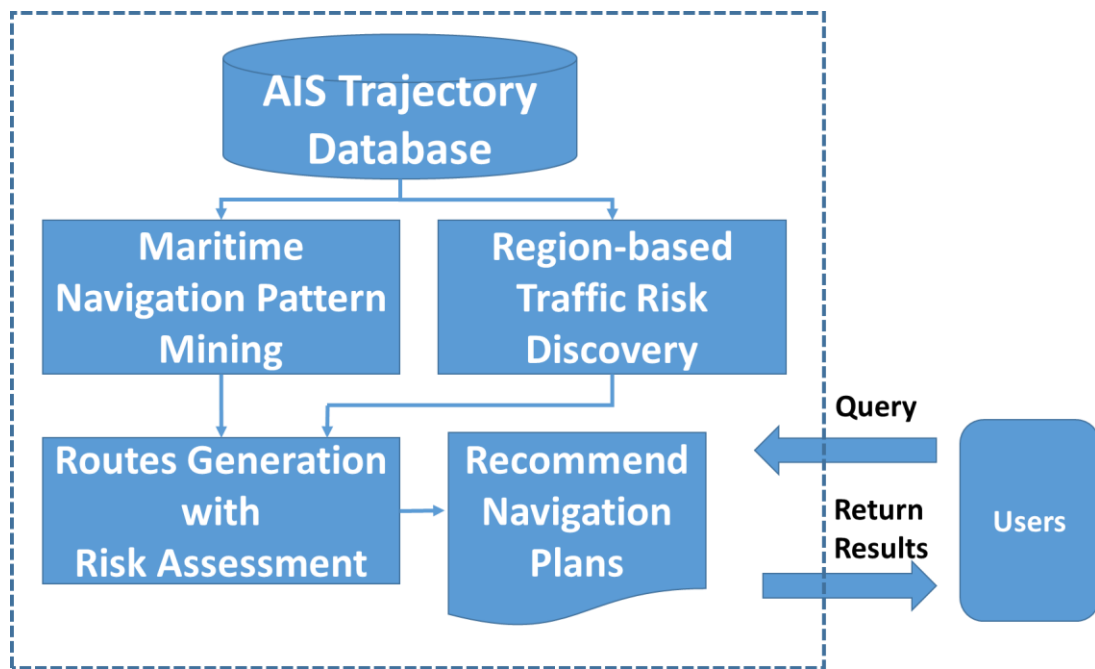


圖3 海上航路規劃推薦系統架構

(1) 航行軌跡模式探勘模組

船舶在海上自由移動空間航行，產生複雜且具不確定性的海量船舶移動軌跡資料，航行軌跡模式探勘模組的目標就是有效地從軌跡資料裡探勘出相似且頻繁發生的移動行為模式，用以代表其他船舶的航行經驗，便能夠藉此作為海上航路規劃的基本依據。

為了解決船舶軌跡資料具有不確定性的問題，我們利用以空間區域（Spatial Region）取代準確位置（Location）的概念，將軌跡移動行為定義由一串由空間區域所組成的序列模式（Sequential Pattern），再利用序列資料探勘的方法來找出存在於歷史資料中頻繁出現的軌跡模式。然而，因為傳統序列資料探勘方法找出來的頻繁模式數量相當龐大

，我們基於PrefixSpan的演算法結合[4]所提出SuperFSP與Pattern Summarizer的方法來合併模式，以減少模式的數量，而且保證每一個頻繁序列模式都是唯一的。

最後，為了要將基於空間網格區域系統所探勘出來的頻繁序列模式轉換成代表實際航線的航行軌跡模式(Navigation Pattern, P_n)，將序列模式所對應到原始AIS軌跡資料群組，針對所屬的每一個Spatial Region進行涵蓋位置分布分析並找出移動特徵(Characteristics of Mobility)， $C_m = \{C, B_L, B_R\}$ (C 為分布中心， B_L 與 B_R 為兩倍標準差的左邊界與右邊界)，即產生所需的航行軌跡模式 $P_{n,i} = \{(C_m)_{r_1}^i, (C_m)_{r_2}^i, \dots, (C_m)_{r_l}^i\}$ 。因為航行軌跡模式代表船舶的真實移動行為，所以我們將基於真實船舶移動軌跡探勘出的頻繁航行軌跡模式作為航路規劃基礎的依據。

(2) 海上區域交通風險偵測模組

海上區域交通風險偵測模組設計的目標，希望從收集的船舶歷史軌跡資料中，找出存在高交通密度或衝突等可能影響航程安全且交通風險情況的區域，並建立風險量化的評估方法，藉以發展結合航程風險評估的船舶航路規劃推薦。

首先，將軌跡資料庫所涵蓋的區域進行網格化，針對每個網格區域

的交通狀況進行風險分析(Region of Risk)。沒有船舶航經的區域我們定義為非航區(No-data Region, NDR)，因為沒有船舶航行經過無法判斷可能面臨的風險，所以定義為風險等級最高的區域；然後將剩下的區域根據交通密度(Traffic Density,TD)與交通衝突(Traffic Conflict,TC)進行分析。簡單來說，區域交通密度即針對某一觀察的海上區域，時間區間內出現船舶移動軌跡的數量；而區域交通衝突即為所觀察之海上區域與時間區間內出現交通衝突的數量，所謂海上交通衝突[41]即為兩艘以上的船舶，其移動行為相互接近產生的影響，而且該影響可能造成碰撞的發生，這樣因為船舶移動行為所造成的衝突，我們稱之為海上交通衝突。針對海上交通風險分析，我們基於風險評估的半定量分析技術[42][43]，將交通區域可能產生的風險予以量化與評估，基本的概念就是建立如表1所示之海上區域交通風險評估表，將海上區域交通可能發生風險影響的嚴重程度，依照區域交通密度與交通衝突經由 Quartile Deviation(QD) 來分類等級 (Low: $TD/TC \leq Q1$, Medium: $Q1 < TD/TC < Q3$, High: $TD/TC \geq Q3$)。若航線經過某一海域 r_i ，給予該區域之衝突風險分類(S_i)與該區域交通密集程度分類(L_i)，則我們就可以藉由 $Rk(r_i) = S_i \times L_i$ 計算某一區域 r_i 所可能產生的風險進行量化 ($1 \leq Rk(R_i) \leq 10$)。

表1 海上區域交通風險評估表

Risk Severity Likelihood		Low Traffic Conflict	Medium Traffic Conflict	High Traffic Conflict
		1	2	3
Low Traffic Density	1	1	2	3
Medium Traffic Density	2	2	4	6
High Traffic Density	3	3	6	9

Rk(NDR)=10

(3) 風險評估航路規劃模組

給予使用者查詢之海上航行之出發點(R_s)與目的地(R_d)，風險評估航路規劃模組首先找出符合($R_s \rightarrow R_d$)條件之航行軌跡模式，然後計算其所經過區域的風險分數總和，並且細算實際航線所需的總時間，作為未來規劃航路推薦的依據，以產生低風險考量的海上推薦航線 $NaviP_k(R_s \rightarrow R_d)$ 。

另外，如果使用者給予的起始點或目的點並不存在於我們找出的航行軌跡模式中，我們提出移動轉換模型 (Mobility Transfer Model, MTM)的方法產生航路規劃。先針對原始軌跡資料庫進行網格化移動轉換分析(Cell Transfer Analysis)，針對每一個網格(Cell)建構如圖4所示的移動轉換表(Transfer Table)，在轉換表中包含從中心Cell移動到

八個鄰近Cell的移動機率。最後，藉由Dijkstra's algorithm配合移動轉換模型，產生風險最小的 $(R_s \rightarrow R_d)$ 推薦航路

$$\text{NaviP}_k(R_s \rightarrow R_d) = \{((C_m)_{r_1}^k, Rk(r_1)), ((C_m)_{r_2}^k, Rk(r_{i2})) \dots, ((C_m)_{r_\ell}^k, Rk(r_\ell))\} \circ$$

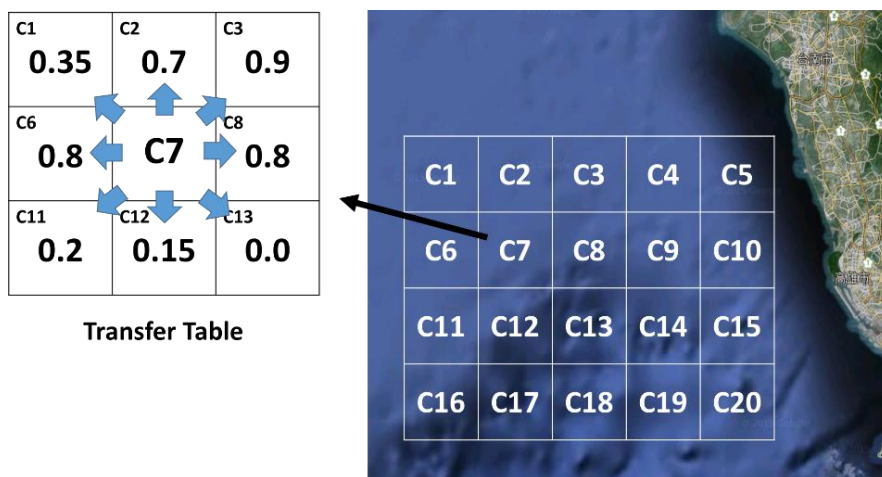


圖4 移動轉換模型示意圖

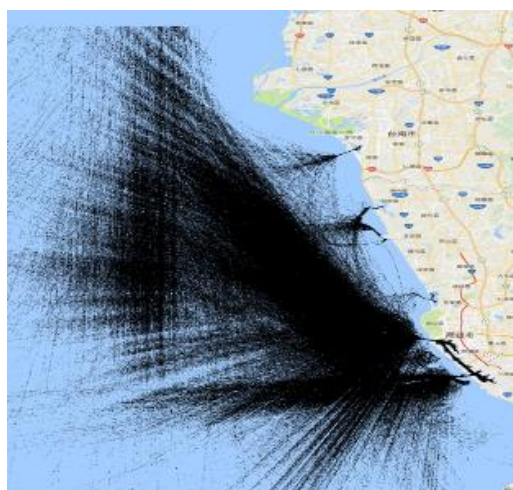
1.5 結果與討論

綜論目前相關研究以ROIs為基礎的移動軌跡模式進行旅程規劃，藉由探勘頻繁區域之間的移動關係與熱門程度，對於依循陸上路網移動的車輛而言，作為路徑規劃是可行的。但是對於位於自由移動空間的海上船舶而言，其所提供的路徑資訊太過粗糙，而且無法提供真實航行路線，並不適用於海上航路規劃。在以下的研究方法中，為了達到海上航路規劃推薦服務為目標，我們將如何克服自由移動空間的問題，從複雜且具不確定性的船舶移動軌跡資料中，有效地借助其他大多數船舶的真實航行經驗來推薦，讓船舶在安全的環境下航行，也就是推薦的移動軌跡模式必須由真實軌跡所產生，作為海上航路規劃的基本依據。我們更進一步從收集的軌跡資料裡，找出對於海上交通可能發生衝突而產生安全風險影響的海上交通關鍵區域，並將其融入航路規劃的考量因素，藉以協助分析航程中可能面臨的風險，發展結合航程風險評估之海上航路規劃推薦系統，以提供同時兼具經濟與低風險航程之航路規劃推薦服務。

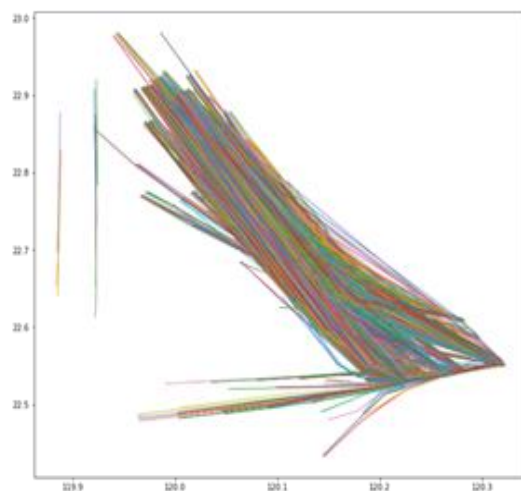
藉由岸基架設的AIS船舶自動識別系統，實際收集海上船舶之移動軌跡資料，對於所提方法進行實驗與分析。我們擷取某一海域(100 km × 100 km)收集5個月的AIS歷史軌跡資料進行實驗，該組資料共計20,639艘船舶的移動軌跡，包含21,202,212個船舶位置資料點。

首先基於AIS船舶歷史軌跡資料，進行航行軌跡模式探勘，在

MinSup=300的條件下，找出如圖5(b)所示共3,127條航行軌跡模式（以中心線代表）。



(a) AIS船舶移動軌跡



(b)航行軌跡模式

圖5 基於真實船舶移動軌跡資料進行航行軌跡模式探勘結果

接下來根據海上區域交通風險偵測模組所產生之基於區域交通風險與評估量化結果進行分析。圖6為區域交通密度分析與量化圖像化結果，比對圖7依據交通衝突之量化結果顯示，我們發現少數部分高密度的區域，並不會相對應產生高衝突的結果，反之亦然。圖8為依據海上區域交通風險評估表所產生之量化結果則是驗證我們的方法，同時考量區域交通密度與衝突特徵，進行風險評估是必要的。

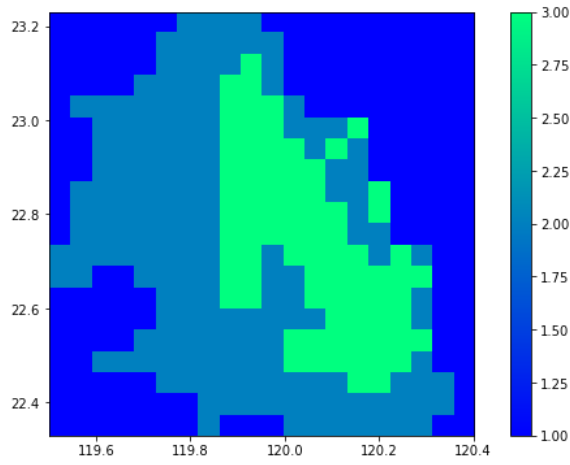


圖6 交通密度量化分析

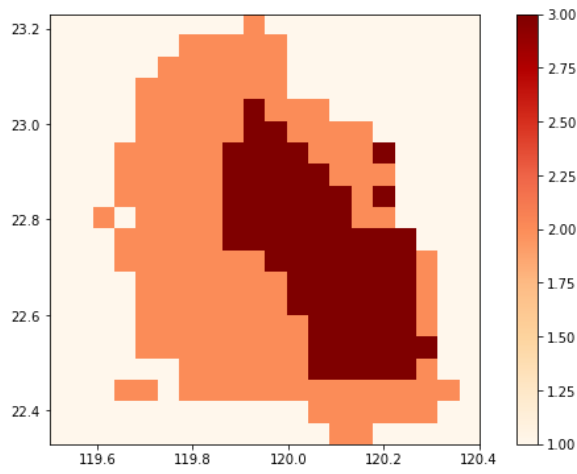


圖7 交通衝突量化分析

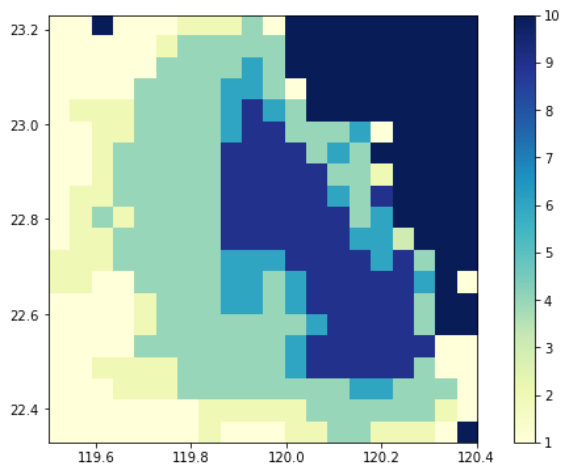


圖8 交通風險量化分析

本計畫特別提出移動轉換模型配合基於航行模式產生航路規劃的方法，以減少因為使用者所查詢的出發點與目的地不存在於模式中而無法產生規畫航路的問題。為驗證我們所提出的方法，隨機在資料區域取兩個點根據不同距離進行航路規劃完成度的實驗，圖9為單純基於航行模式（Pattern only）產生規畫航路方法與轉換模型配合的規畫航路方法（Pattern+MTM）之比較結果，顯示所提出的方法能夠大為提升完成度。

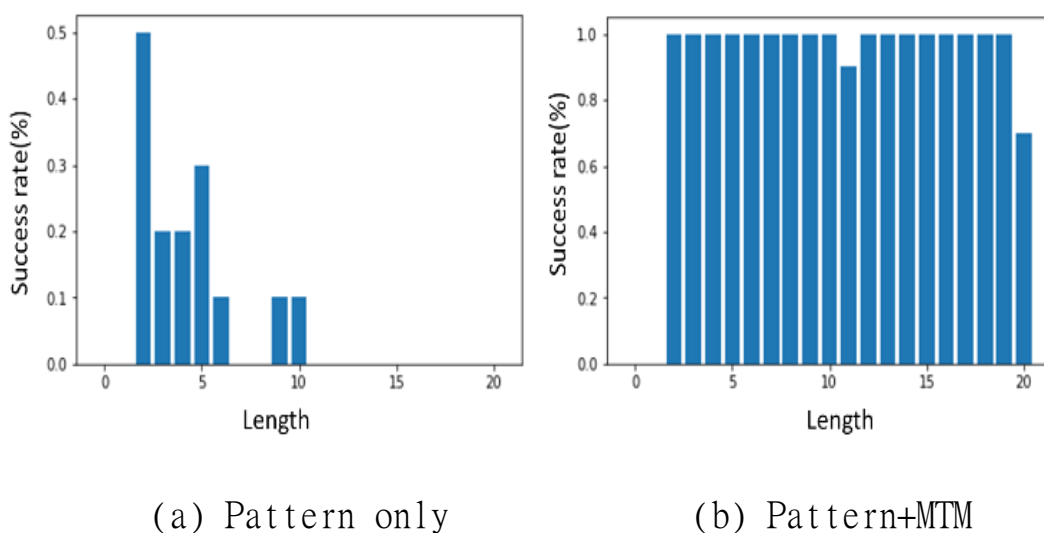
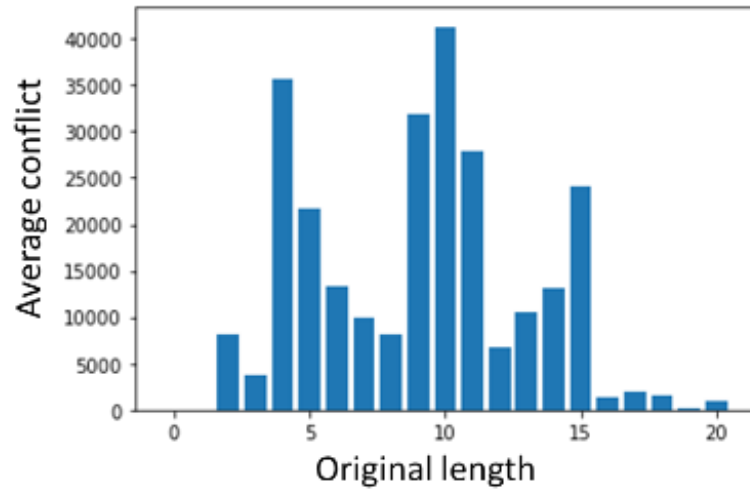
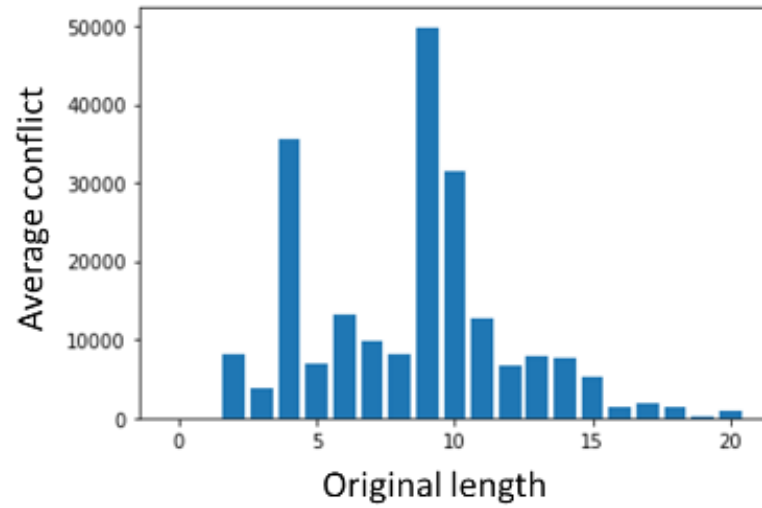


圖9 航路規劃方法完成率比較

為了驗證我們提出的航路規劃方法能夠有效產生低風險考量的海上推薦航線，在相同的查詢下，我們與無考量風險的規劃方法(如圖10(a)所示)比較，如圖10(b)所示我們所提的方法能夠有效降低所面臨的風險。另一方面，如圖11所示之實驗結果比較，為了降低風險，所產生的部分規畫航路長度亦同時會隨之稍有增長。

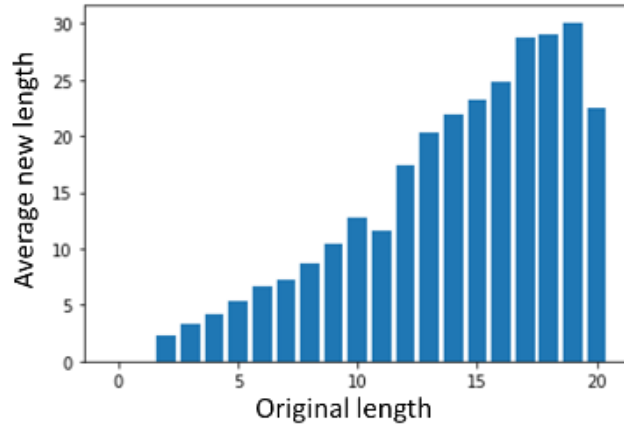


(a) Average conflicts without avoid method

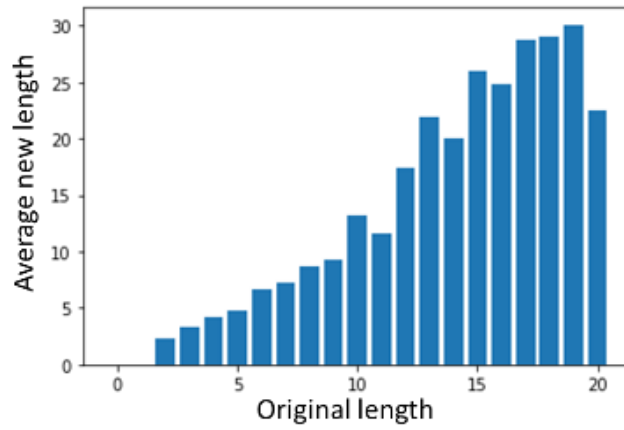


(b) Average conflicts with avoid method

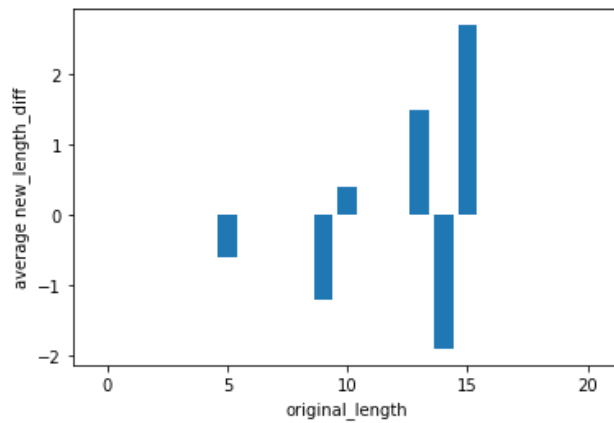
圖10 航路規劃結果之風險比較



(a) Average generated length of voyage plan without avoid method



(b) Average generated length of voyage plan without avoid method



(c) Length difference comparison

圖11 航路規劃結果之航路長度比較

1.6 結論

為了克服海上自由移動空間的環境，從複雜且具不確定性的船舶移動軌跡資料中，能夠有效借助其他大多數船舶的真實航行經驗，並同時考量海上交通可能產生安全風險影響的方法來規畫航路，本計畫提出基於航行軌跡模式探勘並結合海上航程風險評估的航路推薦架構。

首先藉由航行軌跡模式探勘模組找出大部分船舶在航經本區域之頻繁軌跡模式，另外，根據不同子區域內之海上交通情形，經由海上交通區域風險偵測模組進行分析、評估與量化各子區域可能面臨的航行交通風險，最後根據使用者查詢之出發點與目的點，經由風險評估航路規劃模組產生結合海上航程風險評估之航路規劃。實驗結果顯示，我們所提的海上航路規劃方法架構能夠藉由探勘船舶的頻繁移動行為模式，結合地區交通風險評估的方法，產生低風險考量的海上推薦航線，以提供一個具有風險評估，又能符合使用者需求的航路推薦服務。

二、計畫進度說明及經費執行情形

2.1 計畫進度說明(說明目前工作執行狀況、研發過程之內容說明及心得、成果或差異，或以量化數字說明解釋列出進度)

表2 計畫進度說明表

計畫 工作項目	本年度 工作進度(%)		本案累計 工作進度(%)			執行 摘要說明
	預定	實際	預定	實際	差異	
1. 收集及整理AIS 歷史軌跡資料	20	20	20	20	0	藉由岸基架設之 AIS 船舶自動 識別系統，實際收集海上船舶 之移動軌跡資料，對於所提方法進行實驗與分析。我們擷取 某一海域(100 km × 100 km)收 集 5 個月的 AIS 歷史軌跡資料 進行實驗，該組資料共計 20,639 條船舶的移動軌跡，包 含 21,202,212 個船舶位置資料 點。
(1) 收集AIS歷史 軌跡資料	10	10	10	10	0	
(2) 不必要的船舶 資料去除	10	10	10	10	0	
2. 船舶海上航路 規劃推薦服務	30	30	30	30	0	提出海上關鍵交通區域的概念 ，也就是分析船舶移動軌跡相 互間的時空關係，找出存在高 交通密度或衝突等風險狀況的 海上交通關鍵區域，所需的相 關模組正將進行分析實驗驗證 中。
(1) 航行軌跡模式 探勘模組分析	10	10	10	10	0	
(2) 海上區域交通 風險偵測模組 分析	10	10	10	10	0	
(3) 風險評估航路 規劃模組分析	10	10	10	10	0	
3. 航跡資料探勘 結果	20	20	20	20	0	基於 AIS 船舶歷史軌跡資料， 進行航行軌跡模式探勘，在 MinSup=300 的條件下，找出共 3,127 條航行軌跡模式，再根 據海上區域交通風險偵測模組 所產生之基於區域交通風險與 評估量化結果進行分析、量化 與比對。
4. 海上交通風險 評估與量化	10	10	10	10	0	
5. 海上航路規劃 暨風險評估服 務系統整合	10	10	10	10	0	提出移動轉換模型配合基於航 行模式產生航路規劃的方法， 以減少因為使用者所查詢的出 發點與目的地不存在於模式中 而無法產生規畫航路的問題。
6. 完成航程路徑 規劃及期末報 告撰寫	10	10	10	10	0	
累計	100	100	100	100	0	

2.2 經費執行情形：

110年1-10月核撥經費80,000元，經費動支率達本期核撥經費之100 %

(動支率未達100%請說明差異原因)

表3 經費累計執行情形表

經費項目	110年度1-10月計畫經費明細(單位：元)		備考
	預算數	實支數	
材料費	80,000	80,000	
動支未達 100%說明			

參考資料

- [1] B. Han, L. Liu, E. R. Omiecinski, “Road-Network Aware Trajectory Clustering: Integrating Locality, Flow and Density,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 99, No. 1, pp. 1, 2013.
- [2] L. Y. Wei, W. C. Peng, and W. C. Lee, “Exploring Pattern-Aware Travel Routes for Trajectory Search,” *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, Vol. 4, No. 3, pp.48, 2013.
- [3] R. Laxhammar, G. Falkman, and E. Sviestins, “Anomaly Detection in Sea Traffic - A Comparison of the Gaussian Mixture Model and the Kernel Density Estimator” , *Proceedings of IEEE the International Conference on Information Fusion*, 2009, pp. 756-763.
- [4] Y. T. Wen, C. H. Lai, P. R. Lei, W. C. Peng, “RouteMiner: Mining Ship Routes from a Massive Maritime Trajectories,” *Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Mobile Data Management*, Brisbane, Australia, July 14-18, 2014, pp. 353-356.
- [5] N. Mamoulis, H. Cao, G. Kollios, M. Hadjieleftheriou, Y. Tao, and D. W. Cheung, “Mining, Indexing, and Querying Historical Spatiotemporal Data,” *Proceedings of the ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2004, pp. 236-245.
- [6] H. Jeung, Q. Liu, H. T. Shen, and X. Zhou, “A Hybrid Prediction Model for Moving Objects,” *Proceedings of the 24th IEEE International Conference on Data Engineering*, 2008, pp. 70 – 79.
- [7] A. Monreale, F. Pinelli, R. Trasarti, and F. Giannotti, “Wherenext: a Location Predictor on Trajectory Pattern Mining,” *Proceedings of the 15th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, June 28-1, 2009, pp. 637 – 646.
- [8] H. Jeung, H. T. Shen, and X. Zhou, “Mining Trajectory Patterns Using Hidden Markov Models,” *Proceedings of the 9th International Conference on Data Warehousing and Knowledge Discovery*, 2007, pp. 470 – 480.
- [9] J. G. Lee, J. Han, and K. Y. Wang, “Trajectory Clustering: A Partition-and Group Framework,” *Proceedings of the ACM SIGMOD Conference on Management of Data*, Beijing, China, 2007, pp. 593-604.
- [10] H. Cao, N. M. Amoulis, and D. W. Cheung, “Mining Frequent Spatio-temporal Sequential Patterns,” *Proceedings of the International Conference on Data Mining*, Texas, USA, 2005, pp. 8-15.

- [11] D. Zhang, N. Li, Z. H. Zhou, C. Chen, S. Lin, and S. J. Li, “iBAT: Detecting Anomalous Taxi Trajectories from GPS Traces,” Proceedings of the 13th ACM International Conference on Ubiquitous Computing, 2011, pp. 99-108.
- [12] A. Monreale, F. Pinelli, R. Trasarti, and F. Giannotti, “Wherenext: a Location Predictor on Trajectory Pattern Mining,” Proceedings of the 15th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, June 28-1, 2009, pp. 637 – 646.
- [13] P. -R. Lai, S.-C. Li, and W.-C. Peng, “QS-STT: QuadSection Clustering and Spatial-Temporal Trajectory Model for Location Prediction,” Distributed and Parallel Databases, Vol. 31, No. 2, pp. 231-258, 2013.
- [14] L.-Y. Wei, Kai-Ping Chang, and W.-C. Peng, “Discovering Pattern-Aware Routes from Trajectories,” Distributed and Parallel Databases, Vol. 33, No. 2, pp.201-226, 2015.
- [15] H. C. Lu, C.Y. Lin, and V. S. Tseng, “Trip-Mine: An Efficient Trip Planning Approach with Travel Time Constraints,” Proceedings of the International Conference on Mobile Data Management, 2011, pp. 152-161.
- [16] M. Ye, P. Tin, and W. C. Lee, “Location Recommendation for Location-based Social Networks,” Proceedings of ACM SIGSPATIAL International Symposium on Advances in Geographic Information Systems, 2010, pp.458-461.
- [17] Y. Zheng and X. Xie, “Learning Travel Recommendations from User-generated GPS Traces,” ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, Vol. 2, No. 1, pp. 1-29, 2011.
- [18] L.Y. Wei, W. C. Peng, C. S. Lin, and C. H. Jung, “Exploring Spatio-Temporal Features for Traffic Estimation on Road Networks,” Proceedings of the International Symposium on Spatial and Temporal Databases, 2009, pp. 399-404.
- [19] L. Stenneth, O. Wolfson, P. S. Yu, and B. Xu, “Transportation Mode Detection Using Mobile Phones and GIS Information,” Proceedings of ACM SIGSPATIAL International Symposium on Advances in Geographic Information Systems, 2010, pp. 54-63.
- [20] J. C. Ying, H. C. Lu, W. C. Lee, T. C. Weng, and V. S. Tseng, “ Mining User Similarity from Semantic Trajectories,” Proceedings of ACM SIGSPATIAL International Symposium on Advances in Geographic Information Systems, 2010, pp. 19-26.
- [21] X. Yu, A. Pan, L. A. Tang, Z. H. Li, and J. W. Han, “Geo-Friends Recommendation

- in GPS-based Cyber-physical Social Network,” Proceedings of the International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, 2011, pp. 361-368.
- [22] W. Y. Zhu, W. C. Peng, C. C. Hung, P. R. Lei, and L. J. Chen, “Exploring Sequential Probability Tree for Movement-Based Community Discovery,” IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol.26, no.11, 2014, pp.2717.
- [23] S. R. Perkins and J. L. Harris, “Criteria for Traffic Conflicts Characteristics,” Report GMR 632. General Motors Corporation, 1967.
- [24] H. C. Chin and S. T. Quek, “Measurement of Traffic Conflicts,” Safety Science, Vol. 26, No. 3, pp. 169-185, 1997.
- [25] T. Sayed and S. Zein, “Traffic Conflict Standards for Intersections,” Transportation Planning and Technology, Vol. 22, No. 44, pp. 309-323, 1999.
- [26] K. El-Basyouny and T. Sayed, “Safety Performance Functions using Traffic Conflicts,” Safety Science, Vol. 51, No. 1, pp. 160-164, 2013.
- [27] U. Shahdah, F. Saccomanno, and B. Persaud, “Integrated Traffic Conflict Model for Estimating Crash Modification Factors,” Accident Analysis and Prevention, Vol. 71, pp. 228-235, 2014.
- [28] D. A. Kumar and H. C. Chin, “Analysis of Marine Conflicts,” Proceedings of the 19th KKCNN Symposium on Civil Engineering, Kyoto, Japan, 2006.
- [29] D. A. Kumar, H. C. Chin, and M. M. HAQUE, “Modelling Port Water Collision Risk using Traffic Conflicts,” Journal of Navigation, Vol. 64, No. 4, pp. 645-655, 2011.
- [30] Q. LI and H. S. L. FAN, “A Simulation Model for Detecting Vessel Conflicts within a Seaport,” the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 6, No. 1, pp. 11-17, 2012.
- [31] Z. Chen, H.T. Shen, and X. Zhou, “Discovering Popular Routes from Trajectories,” Proceedings of the International Conference on Data Engineering 2011, pp. 900-911, 2011.
- [32] L. Y. Wei, X. Xiao, D. Deng, G. Cong, a. D. Zhu, and S. Zhou, “Shortest Path and Distance Queries on Road Networks: an Experimental Evaluation,” Proceedings of the International Conference on Very Large Databases, pp. 406-417, 2012.
- [33] P. Kumar, V. Singh, and D. Reddy, “Advanced Traveler Information System for Hyderabad City,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 6, pp. 26-37, 2005.
- [34] Gonzalez, J. Han, X. Li, M. Myslinska, and J. P. Sondag, “Adaptive Fastest Path Computation on a Road Network: a Traffic Mining Approach,” Proceedings of the

- 33rd International Conference on Very Large Databases, Vienna, Austria, 2007.
- [35] Y. Tian, K. C. K. Lee, and W.-C.Lee, "Monitoring Minimum Cost Paths on Road Networks," Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, Seattle, Washington, 2009.
- [36] H. Yoon, Y. Zheng, X. Xie, and W. Woo, "Smart Itinerary Recommendation Based on User-generated GPS trajectories," Proceedings of the 7th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing, Xi'an, China, 2010.
- [37] H. Yoon, Y. Zheng, X. Xie, and W. Woo, "Social itinerary recommendation from user-generated digital trails," Personal Ubiquitous Computing, Vol. 16, pp. 469-484, 2012.
- [38] M. D. Choudhury, M. Feldman, S. Amer-Yahia, N. Golbandi, R. Lempel, and C. Yu, "Constructing Travel Itineraries from Tagged Geo-temporal Breadcrumbs," Proceedings of the 19th International Conference on World Wide Web, Raleigh, North Carolina, USA, 2010.
- [39] X. Lu, C. Wang, J.-M. Yang, Y. Pang, and L. Zhang, "Photo2Trip: Generating Travel Routes from Geo-tagged Photos for Trip Planning," Proceedings of the International Conference on Multimedia, Firenze, Italy, 2010.
- [40] H.-P. Hsieh, C.-T. Li, and S.-D. Lin, "Exploiting Large-scale Check-in Data to Recommend Time-sensitive Routes," Proceedings of the ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing, Beijing, China, 2012.
- [41] P. R. Lei, T.H. Tsai, Y. T. Wen, and W. C. Peng, "ConflictFinder: Mining Maritime Traffic Conflict from Massive Ship Trajectories," Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Mobile Data Management, Daejeon, South Korea, May 29 - June 1, 2017, pp. 356-357.
- [42] T. Rosqvist, R.Tuominen," Qualification of Formal Safety Assessment: an Exploratory Study," Safety Science, Vol. 42, pp. 99-120, 2004.
- [43] R. Flage and T. Aven, "Expressing and Communicating Uncertainty in Relation to Quantitative Risk Analysis," Reliability and Risk Analysis: Theory and Application.