高頻陣列雷達訊號辨識船舶演算法之應用

錢樺	國立中央大學水文與海洋科學研究所副教授
陶瑞全	國立中央大學水文與海洋科學研究所博士生
蘇青和	交通部運輸研究所科長
許義宏	交通部運輸研究所副研究員

摘要

本研究應用高頻雷達訊號船舶辨識 演算法,於臺中港北防沙堤附近建置之 海洋高頻陣列雷達系統進行測試與評 估。演算法主要使用調適性偵測法 (Adaptive Detection method)與調適性船 舶 偵 測 法 (Adaptive Ship Detection method),再使用固定錯誤警報率過濾法 中的最大平均固定錯誤警報率以及雜訊 測試,從偵測法的結果中找出更正確的 船舶位置,過濾結果良好。而船舶軌跡 辨識使用統計距離門計算,結果則易受 雜訊干擾及資料缺漏而影響呈現品質。

根據高頻雷達、微波雷達與整合船 舶 自 動 識 別 系 統 (Automatic Identification System, AIS)之船舶尺寸、 方向、距離等比較,撇除訊號干擾過強 的部分,高頻雷達船舶偵測結果良好, 未來可將高頻雷達偵測資料與船舶自動 識別系統互補,提升船舶監測系統的準 確性,加強船舶航行安全管理。

一、前言

雷達早期發展主要應用於目標物探 測,一般常用於民用航海的微波 (Microwave)雷達,波長為公分等級,其 發射電磁波在大氣中傳遞路徑為直線, 受地球表面曲率限制,海面目標物探測 距離與雷達架設高程有關,因此一般難 以探測超越視距外的目標物,僅能進行 視距內的探測。高頻(High Frequency)電 磁波的傳遞,波長為公尺等級,在海氣 交界面會產生重複性的折射,使電磁波 得以沿著海洋表面的曲面前進,探測視 距外的目標物。

高頻雷達頻率介於 $3\sim30$ MHz,觀測 距離超過 200 海里(約 370 公里) (Dzvonkovskaya and Rohling, 2006)。高 頻雷達之 200 海里觀測範圍特性可應用 於多方面領域,包含船隻偵測、救難搜 尋、汙染物分布、漁業與海洋學,亦適 用於聯合國海洋法公約(United Nations Convention on the Law of the Sea)建立 200 海里之專屬經濟海域(Exclusive Economic Zone, EEZ)的國家,用以偵測 與追蹤經濟海域內的船隻活動 (Dzvonkovskaya and Rohling, 2007; Ponsford and Wang, 2010)。

臺中港為配合行政院離岸風電發展 規劃未來離岸風電的施工與維運 都將提升臺中港船隻進出頻度,因此提 高航道安全、避免事故與港埠有效管理 是必要工作,而船隻動態監測即離足 之務。臺中離岸風電場址電調」距離測距離 之務。臺中離岸風電場址電調」距離測距離 約 在 20 公里以上,一般微波雷達 副可超 約 時 武 ,發射功率遠較一般脈衝式微 波雷達約 照 的工具。

本研究應用高頻雷達訊號船舶辨識 演算法,於臺中港北防沙堤附近建置之 海洋高頻陣列雷達系統進行測試與評 估,未來可將高頻雷達偵測資料與船舶 自動識別系統互補,提升船舶監測系統 準確性,加強船舶航行安全管理。

二、雷達資料說明

2.1 都卜勒距離譜

本研究採用高頻陣列雷達觀測系統,都卜勒距離譜(Doppler-Range Spectrum)為高頻線性調變雷達最初階 的觀測產品,基於都卜勒距離譜,後續 可推求包括船舶位置、表面海流、波浪 等參數。

都卜勒距離譜計算過程,是將各天 線元所接收的回波訊號與發射訊號進行 混頻與降頻,得到中頻訊號頻率差值, 由於發射頻率為線性調變,因此頻率差值 拿電磁波傳遞時間有關,從而可用以 作為目標物距離之指標。目前的線解 度為 500 m。實際雷達系統中,每一支 接收天線元感測之回波訊號經電路混頻 之後,以採樣頻率 740 Hz 類比數位轉換 器轉為離散時間序列,並以 I、Q 的形 式紀錄。

回波強度(振幅)與相位可分別由 I、Q訊號求得,考慮同一距離元上所反 射的訊號呈現時間的週期性震盪,此為 目標物影響造成的都卜勒頻偏(單位時 間的相位變化)。訊號處理上先將 I、Q 複數訊號進行第一次的傅立葉轉換,由 時間域轉換為頻率域,再將頻率找到對 應的之距離。每一個距離上對應之訊號 強度實際上是複數型態的傅立葉係數, 據此,進一步再對於各距離元之複數時 序列進行第二次的傅立葉轉換,得到對 應於都卜勒頻偏上的回波強度之都卜勒 譜,代表在不同都卜勒頻偏下的雷達回 波強度。每一個接收天線上每一個距離 元上都可以計算出都卜勒譜,稱為都卜 勒距離譜,是高頻線性調變雷達初階最 主要的觀測結果產品。如圖1所示,縱 軸為頻率對應的距天線元距離,橫軸為 都卜勒頻偏,顏色為回波強度,譜上可 清楚見到兩個能量的峰值,稱之為一階 峰,是海面波浪布拉格背向散射下的结

果。由於每一個接收天線都是全向性的,所得到的都卜勒距離譜並沒有指定方位,要能探測方位,必須利用到多支 天線接收的訊號進行波束合成(Beam forming),而方位角的解析度與天線陣列 中天線的位置與數量有關。

臺中港海洋高頻陣列雷達的天線數 目為16支,產出的訊號經過傳統波束合 成後,方位角的解析度約為8度。再從 每一個方位角之都卜勒距離譜找出船舶 訊號,並提供其船舶位置資訊。



2.2 雷達雜訊特徵

為有效且精準的辨識船舶訊號,過 濾船舶訊號以外之雜訊是一項重要工 作。高頻雷達訊號因雷達頻率、輻射功 率、物體表面特性、物體截面積大小、 海面粗糙度與現場環境條件等許多因素 而影響(Ponsford and Wang, 2010)。根據 Fernandez et al.(2001),解析高頻雷達回 波訊號中之船隻訊號,容易因陸地、電 離層游離與海面散射等因素所干擾及錯 誤辨認。根據 Dzvonkovskaya and Rohling(2006),高頻雷達之雜訊水平 (noise level)主要受外界環境雜訊影響, 並根據不同的雜訊特徵對雷達訊號有相 對應不同的影響。

將臺中港高頻雷達訊號做長時間繪 製如圖 2 所示,時間為 108 年 1 月 17 日至 3 月 9 日,可以發現幾點雜訊特徵:

- (1)每天白天固定會有大約6個小時背 景雜訊增加的現象,推估為日照所 造成電離層游離化,雷達訊號經過 電離層折射後所造成雜訊增加。
- (2) 距離約 2-4 公里處常有強雜訊,推 估為天線周邊離岸風力發電之風機 葉扇旋轉導致雷達訊號產生都卜勒 效應。
- (3) 8、16 公里處也有些固定雜訊,因 圖中之距離是由線性調變的頻率去 推算,亦有可能受到現實物體外或 其他電磁波干擾之因素影響,目前 推估可能與附近臺中國際機場通訊 影響有關。

以上幾點背景雜訊來源為本研究過 濾雜訊過程之重點項目,除了主要的波 浪干擾需要過濾外,後續過濾法門檻之 選擇、辨識成效的好壞也會以這幾項雜 訊做為參考與評估依據。



三、船舶辨識演算法

本研究第一步驟以 Roarty et al. (2010)的概念為基礎,從較長期的觀測 資料中,統計釐清波浪散射訊號特性以 及環境背景雜訊在都卜勒距離譜上的分 佈特徵,兩者疊加後作為強度門檻值, 比較現有觀測的譜值與門檻的差異,當 差異達到顯著水準時,辨識為船隻、否 則為海面雜波。此步驟本研究分別使用 兩種方法,一是參考 Chuang et al.(2015) 之調適性偵測法 (Adaptive Detection method),二是參考 Dzvonkovskaya and Rohling(2006) 之調適性船舶偵測法 (Adaptive Ship Detection method)用以過 濾大部分之背景雜訊。

第二步驟參考 James J. Jen(2011), 同時使用固定錯誤警報率過濾法 (Constant False-Alarm-Rate, CFAR)與雜 訊測試(Noise testing),目的為透過設立 較準確之門檻值與過濾條件從第一步偵 測法的結果中找出更正確的船舶位置。

3.1 調適性偵測法

參考 Chuang et al.(2015)使用之調適 性 偵 測 法 , 先 將 多 幅 交 叉 頻 譜 (cross-spectrum)使用二維移動平均(2D moving average),再將交叉頻譜扣除二 維移動平均過之頻譜,求得殘餘訊號 (Residual signal),二維移動平均公式如 下所示:

$$y(i,j) = \frac{1}{m \times n} \sum_{k=-(m-1)/2}^{\frac{(m-1)}{2}} \sum_{l=-(n-1)/2}^{\frac{(n-1)}{2}} x(i+k,j+l)$$
(1)

 i 為都卜勒頻偏,j 為距離單元, x(i+k,j+l)為原始交叉頻譜強度值, m×n為計算之二維移動窗(2D moving window)範圍。

求得殘餘訊號後,使用不同倍數的 標準偏差值加上平均值做為門檻加以過 濾,分別以 1.5、2、2.5、3 倍標準偏差 做為調適門檻(Adaptive threshold)嘗試 過濾雜訊影響。

3.2 調適性船舶偵测法

調適性船舶偵測法參考 Kendall et al.(1967)與 Dzvonkovskaya et al.(2006、 2007、2010),此方法適用於一階海面背 向散射訊號為主導的強雜訊環境下之船 舶偵測。其調適門檻公式如下:

 $T_{\alpha,R}$ 為距離域中曲線回歸(Curvilinear regression)之信賴上界值(Upper confidence bound value)100(1- α)%, $T_{\alpha,D}$ 為頻率域曲線回歸之信賴上界值 100(1- α)%,若交叉頻譜強度能同時高於 距離、頻率域之調適門檻 T,則視為可 能之船舶訊號。此研究分析中所使用之 α 為 0.05,使信賴上界值為 95%,此為 普遍認定之可信度(Confident level),確 保以此標準所取得之結果良好。

3.3 固定錯誤警報率過濾法與雜訊測 試

固定錯誤警報率過濾法以聶曼-皮 爾遜準則(Neyman-Pearson criterion)為 依據,設立準確門檻值,足夠限制大部 分的錯誤訊號,並留下期望探測之目標 物訊號,此方法的優點是可根據不同範 圍得到相對應不同的門檻值(Rohling, 1983; Dzvonkovskaya and Rohling, 2006; Dzvonkovskaya et al., 2010; Dzvonkovskaya and Rohling, 2007; James J. Jen, 2011)。

固定錯誤警報率過濾法設立之門檻 值公式如下所示:

 $T = \alpha P_n$ (3) T 為門檻值, α 為比例因子(scaling

factor),在這可稱為門檻因子(threshold factor),Pn則為雜訊強度。

平均固定錯誤警報率(Cellaveraging CFAR, CA-CFAR)的概念為, 欲求之目標單元(Cell Under Test, CUT),將其周圍取一範圍,範圍內之其 他單元稱作訓練單元(Training cell),並 將範圍內之訓練單元做平均得到此範圍 之平均強度值(Local average power level),若目標單元之訊號強度大於範圍 內之雜訊平均強度乘上門檻因子,則可 視為欲求之目標物訊號,範圍內之平均 雜訊強度 Pn以下列公式表示:

 $\alpha = \mathrm{N}(\mathrm{P}_{\mathrm{fa}}^{-1/N} - 1) \quad \dots$

.....(5)

Pfa 為錯誤警報率。錯誤警報率為常 數,而錯誤警報率的決定依據過濾效果 可調整以達到過濾最佳效果。

固定錯誤警報率有分不同方法,其 中比較常見的有上述的平均固定錯誤警 報率、最大平均固定錯誤警報率 (Greatest-Of-Cell-Average CFAR, GOCA-CFAR)、最小平均固定錯誤警報 率 (Smalllest-Of-Cell-Average CFAR, SOCA-CFAR)等,其最大平均意思為在 多個範圍之訓練單元中,取最大平均意思為在 多個範圍之訓練單元中,取最大平均意思為在 多個範圍之訓練單元中,取最大平均意思為在 銷練單 元 去 計 算 門 檻 值 , 根 據 Dzvonkovskaya and Rohling (2006),最大 平均固定錯誤警報率適合用於此雷達訊 號過濾步驟,故此分析以最大平均固定 錯誤警報率做為過濾法。

在使用最大平均固定錯誤警報率過 濾雜訊時,需同時進行雜訊測試,根據 Dzvonkovskaya and Rohling(2006),雜訊 測試之訊號雜訊水平(signal-to-noise level)得確認為至少高於 6dB,達到以上 兩種條件,才可視為可能之船舶訊號, 否則認定為一般背景雜訊而濾除。

3.4 統計距離門軌跡辨識

以上步驟關鍵是使用適當統計方法 的應用及調整,需要與AIS 資料相互比 對,利用實際資料逐步調整適當的門檻 值設定。然而實際應用時考量雷達斑駁 (Speckle)必然會產生錯報值,此時再經 由另一步驟進行過濾。此步驟為:得到 疑似目標物的訊號時,經由檢核目標物 位置在時間軸上的變化、目標物速度與 航向之一致性,作為確認的依據,由於 辨識點可能錯報,必須經由時間序列上 位置、速度與航向的一致性作為品管指 標。這一部分要發展為自動化軌跡辨識 判斷是一挑戰,需要實際的 AIS 資料作 為調整。此自動化軌跡辨識步驟參考使 用 Dzvonkovskaya et al. (2010)、 Dzvonkovskaya and Rohling(2007)、 Gurgel et al.(2010)之統計距離門軌跡辨 識技術。統計距離門之船舶條件判定公 式如下:

 $d < \Delta d$; $|V_{Rs} - V_0| < \Delta V$(6)

d 為預測船舶與原始船舶之距離, Δd為船舶距離判定門檻, V_{Rs} 為更新之船 舶速度, V_0 為原始船舶速度, ΔV 為船舶 速度判定門檻。船舶距離與速度門檻依 照現實船舶而設定,統計距離門之軌跡 辨識條件必須滿足以上兩個條件,一為 船舶號對應之距離不可相差太遠,二 為速度差不可太大,即可視為偵測前後 之兩訊號可能為相同之船舶訊號。

四、結果與討論

4.1 船舶辨識演算結果

以下為以108年8月31日3時臺中 港海洋高頻陣列雷達觀測資料進行偵測 演算法測試結果,圖1為未經偵測演算 處理之都卜勒距離譜,計算之時序列資 料時間為55秒,距離單元(cell)為81, 距離為40公里,頻率單元為256,頻率 為-2.3Hz到2.3Hz。

分別經過調適性偵測法與調適性船 舶偵測法後,透過設立較準確之門檻值 與過濾條件,更精準地從第一步偵測法 的結果中找出正確的船舶位置,於調適 性偵測法及調適性船舶偵測法後使用固 定錯誤警報率過濾法中的最大平均固定 錯誤警報率過濾,結果如圖3及圖4所 示。







從圖3及圖4看來使用兩種船舶偵 測法可有效的從高頻雷達都卜勒距離譜 取得可能之船舶訊號,但兩種方法得到 之可能船舶訊號並非完全一致,為確保 所有船舶訊號皆被偵測,兩種偵測法之 結果合併留存,並與AIS 資料比對及經 過統計距離門軌跡辨識確認所有可能之 船舶訊號。

4.2 船舶偵測法與 AIS 比對結果

於固定錯誤警報率過濾法處理後, 將結果與 AIS 資料進行比對,結果如圖 5 所示,為確保所有可能之船舶訊號都 有被偵測到,將調適性偵測法與調適性 船舶偵測法之所有可能船舶位置以黃色 點表示,洋紅色點為AIS同時間之船舶 位置,洋紅色數字為船舶水上識別碼, 黑色線條為AIS之船舶軌跡。



從圖 5 之結果發現, AIS 中的船舶 位置大部分是有被高頻雷達之船舶偵測 法偵測到的,結果良好,但有一部分 AIS 顯示之船舶未被偵測以及黃色點並未同 時被標註在 AIS 中。AIS 船舶卻未被偵 測大部分集中在近岸海面雜訊干擾較強 的地方及較遠顯示 AIS 資訊的可能原因 為未能確實過濾所有雜訊或船舶並未確 實登錄資訊於 AIS 中。

4.3 統計距離門軌跡辨識法測試及 AIS 比對結果

從兩種船舶偵測法之結果經過統計 距離門軌跡辨識法再次確認船舶訊號, 其結果如圖 6 所示,橘色軌跡(點)即為 使用統計距離門軌跡辨識計算之結果, 雷達觀測最後時間點之船舶位置以黃色 點表示,洋紅色點為 AIS 同時間之船舶 位置,洋紅色數字為船舶水上識別碼, 黑色線條為 AIS 之船舶軌跡。



從圖 6 發現, 在較低雜訊干擾及無 偵測資料缺漏的情形下較能呈現船舶軌 跡,大部分軌跡辨識呈現品質受雜訊干 擾程度影響大,結果仍有進步與改善的 空間。若未來有第二座高頻雷達系統, 可根據雙雷達系統之都卜勒頻偏計算出 即時之船舶運動狀態,可大幅改善船舶 軌跡之品質。

4.4 高頻陣列雷達與 AIS 長時間統計 比對分析結果

此節比對高頻陣列雷達與 AIS 之資 料,以 AIS 資料為真值來計算雷達的觀 測成功率,因此觀測成功率定義為 AIS 紀錄資料中之船舶有被高頻雷達觀測 歸錄資料中之船舶有被高頻雷達觀測 即表成功,反之若沒被高頻雷達 測到訊號卻沒有被 AIS 所紀錄,則暫不 列入此觀測成功率之統計中。以下分別 以觀測距離、船舶大小、船艏向、行進 方向等進行比對探討,以了解高頻雷達 與 AIS 之船舶觀測特性差異。

4.4.1 雷達與 AIS 船舶位置距離誤差比 對

使用船舶偵測法偵測之船舶位置與 相同之 AIS 船舶訊號位置做距離誤差比 對,比對資料時間為 108 年 7 月 31 日, 比對資料長度為 24 小時,比對資料筆數 為 28000 筆,比對結果如圖 7 所示。



離誤差比對圖

目前高頻雷達在近岸海面雜訊干擾 較強,而較遠的地方回波訊號較弱,都 不利於偵測船舶,高頻雷達觀測範圍之 左右兩側有強訊號干擾,亦不易精準偵 測船舶位置,根據圖7結果顯示高頻雷 達偵測船舶位置與AIS 位置距離差少於 2 公里之機率約為 35%,少於 4 公里之 機率約為 60%,此初步分析結果尚佳而 存在進步的空間,若撇除上述干擾訊號 過強的部分,其船舶偵測結果良好。

4.4.2 分析雷達觀測距離成功率

108 年 7 月於不同觀測距離下高頻 陣列雷達資料與 AIS 比對之觀測成功率 呈現如圖 8。以下分析以高頻陣列雷達 與 AIS 船舶位置低於4公里(8單元)視為 相同船舶。圖 8 之左方縱軸(藍字)為觀 測成功率,右方縱軸(紅字)為不同距離 下之 AIS 紀錄資料筆數,橫軸為觀測距 離(單位公里),使用 7 月 3~31 日資料共 124080 筆。

從圖 8 不同距離之觀測成功率計算 結果可以發現,距離 4 公里以下及超過 30 公里有觀測成功率下降的情形,此狀 況與高頻雷達近岸受到強海面雜訊影響 以及觀測距離較遠則回波訊號較弱有 關,於觀測距離 4~30 公里之觀測成功率 關,於觀測距離 4~30 公里之觀測成功率 呈現平穩的趨勢,成功率約為 60%,此 成功率尚佳,觀測距離 34 公里以上,成 功率也有達到 50%,而觀測距離超過 34 公里以上時,觀測成功率明顯降低,顯 示觀測範圍受到限制。



圖 8 108 年 7 月高頻陣列雷達於不同距 離之觀測成功率

4.4.3 分析雷達對於船舶尺寸觀測成功 率

高頻雷達探測船舶成功率的影響因 素包含雜訊及船舶本身狀態,此節先將 不同船舶尺寸與都卜勒距離譜之一、二 階海面回波訊號作強度比較,以了解海

面布拉格散射與船舶鏡面反射回波訊號 強度上的差異,如圖9所示,縱軸為雷 達回波強度(單位 dB),橫軸雷達觀測目 標物距離(單位公里),結果發現船舶長 度越長回波強度越強,原因為雷達截面 積的影響,另外也可發現隨著觀測目標 物距離越遠,回波強度也越弱,此結果 與雷達方程式表示強度隨著距離的四次 方成反比一致。都卜勒距離譜之一、二 階回波強度受海面波浪布拉格散射影 響,隨著波高增強,透過對一、二階回 波強度的統計了解海面波浪之雷達回波 的變化,圖9使用2019年1月示性波高 3.8 公尺時之一、二階回波強度做統計, 來了解船舶訊號在高波浪干擾情況下之 比對結果,從結果顯示船舶回波訊號強 度一般而言大於海面波浪之回波訊號, 但依然有少部分船舶訊號小於波浪回波 強度,尤其一階峰之最大值更容易出現 大於船舶訊號強度的情形。雖然回波強 度隨著距離增加而下降,船舶訊號依舊 大於波浪訊號,此結果與圖7的不同距 離之觀測成功率呼應。另一方面8與16 公里處有出現 2.2 節提到的雜訊干擾, 導致與其它距離的結果不大一致。從圖 9 得知一般而言波浪訊號強度是低於船 船回波訊號,但在強波浪情形下,會有 部分尤其較小尺寸船舶會受到波浪訊號 干擾而難以辨識。

圖10為高頻陣列雷達與AIS比對於 不同船舶尺寸下之觀測成功率,觀測成 功率之定義一樣為AIS紀錄資料中之船 舶有被高頻雷達觀測到即表示為成功。 圖10左方縱軸(藍字)為觀測成功率,右 方縱軸(紅字)為不同船舶尺寸之AIS 紀 錄資料筆數,橫軸為船舶尺寸(單位公 尺),與圖8使用相同之AIS 資料。

從圖 10 不同船舶尺寸之觀測成功 率計算結果可以發現,300 公尺以上之 船舶資料筆數較少,觀測成功率之分析 結果起伏較大,除此之外,大部分觀測 成功率呈現約為 50~60%,此結果說明 高頻雷達觀測並無明顯受到船舶尺寸而 影響成功率,此結果也可從圖 9 不同船 船尺寸之回波訊號基本上大於波浪回波 訊號可推論,這表示船舶尺寸大小對於 高頻陣列雷達之船舶偵測結果的好壞並 非主要影響因素,而複雜的背景環境雜 訊鍵。



4.4.4 分析雷達對於船艏向與船舶行進 方向觀測成功率

船艏向與船舶行進方向會有些微的 差異,一般而言船舶行進向量大約等於 船艏向量與海表面流向量的加總,這裡 將船艏向與船舶行進方向都進行統計分 析,統計之觀測目標海域為垂直海岸線 -30~30 度之間,7 月船艏向分析結果如 圖 11,船舶行進方向結果如圖 12 所示, 左方縱軸(藍字)為觀測成功率,右方縱 軸(紅字)為資料筆數,橫軸為船艏向和 船行進方向(單位:度),0 度為北,180 度為南,大約 120 度為方向朝向雷達, 300 度為背向雷達方向。

由圖 11、12 發現,若船艏向或行進 方向面向或背向雷達,其觀測成功率較 高,反之若平行於海岸線之船艏向或行 進方向,觀測成功率較低,此結果可能 與船舶不同方向之雷達截面不同有關。 由資料顯示在此的船艏向或行進方向較 集中在 30 度與 210 度附近,其他行進方 向的船舶數量較少,因此這部分的結果 還需要更多的資料進行分析驗證。





4.4 AIS 與微波雷達比對結果

本研究應用高頻陣列雷達辨識船舶 訊號的演算法,並與AIS 資訊做比較, 了解其演算法之可行性,但於演算法與 AIS 的比較過程中,發現常有高頻雷達 辨識之船舶訊號並無出現於 AIS 資訊 中,若上述比較以AIS 資訊為真值,則 需確定 AIS 是否能夠完整呈現與代表現 實狀況之船舶狀態。

基於以上描述,於108年10月16 日架設X波段移動式微波雷達觀測站於 高頻陣列雷達站旁,以高頻雷達距離解 析度500公尺其兩站為同一單元內,可 視為位於相同位置,觀測結果如下圖 13、14。



圖 13 108 年 10 月 16 日 13:30 微波雷達觀測圖



圖 14 所示,洋紅色字、點為 AIS 資訊紀錄之船舶水上識別碼及其位置, 白色扇形半徑為 12 公里約為右圖之微 波雷達觀測半徑,10月16日10:30 觀 測之結果顯示,AIS 資料之船舶位置皆 清楚的顯示於微波雷達觀測影像中,經 過多張微波雷達影像與 AIS 資訊比較, 可以確定 AIS 船舶位置能清楚顯示於微 波雷達影像呈現,但於圖 13、14 中發 現,同日13:30 時段之 AIS 資訊中,幾 乎沒有船舶位於臺中港口外之近岸海 域,如微波雷達圖所示,於港口南邊之 兩船舶訊號於 AIS 中有紀錄,然而南邊 兩船舶位置再離岸約4公里處有一明顯 之強船舶訊號,此訊號於 AIS 則無紀 錄,距離臺中港口北方約8公里處亦有 一強船舶訊號,同樣並沒有於 AIS 資料 中紀錄。

AIS 為被動式船舶動態監測系統, 紀錄之船舶資訊必須經由船家主動將船 舶資訊回報,若船家未主動進行回報或 未裝載 AIS 發報器,則無法透過 AIS 了 解船舶紀錄與現實狀況不同、消失的情 形出現,因此本研究於高頻調到船舶訊 號但未出現於 AIS 紀錄,可能是背景雜 訊干擾的誤判,亦有很大的機會是 AIS 並未明確紀錄所致。

五、結論

本研究使用高頻陣列雷達觀測訊號 進行船舶辨識,其演算法主要使用調適 性偵測法與調適性船舶偵測法,兩種偵 測法辨識結果並非完全一致,為確保所 有船舶訊號皆被偵測,兩種偵測法之結 果合併留存。

使用固定錯誤警報率過濾法中的最 大平均固定錯誤警報率以及雜訊測試, 從第一步偵測法的結果中找出更正確的 船舶位置,過濾結果良好。船舶軌跡辨 識使用統計距離門計算,結果易受雜訊 干擾及資料缺漏而影響呈現品質。

根據高頻雷達比較 AIS 之不同距離 之觀測成功率統計,目前雷達在近岸 4 公里內之海面雜訊干擾較強以及超過 30 公里、回波訊號較弱的地方不易準確 偵測船舶,觀測距離 4~30 公里之觀測成 功率呈現平穩的趨勢,成功率約為 60%,成功率尚佳。高頻雷達偵測船舶 位置與 AIS 位置距離差少於 2 公里之機 率約為 35%,少於 4 公里之機率約為 60%,此初步分析結果尚佳而存在進步 的空間,若撇除上述訊號干擾過強的部 分,其船舶偵測結果良好。

船舶鏡面反射與波浪布拉格散射訊 號強度比較,波浪訊號強度低於船舶回 波訊號,但在強波浪情形下,會有部分 尤其較小尺寸船舶會受到波浪訊號干擾 而難以辨識。高頻雷達船舶辨識成功率 與船舶尺寸之關係統計結果呈現無明顯 50~60%,背景環境雜訊干擾也許是主要 影響觀測成功率的關鍵,另外船艏向和 船舶行進方向與觀測成功率也有其相關 性。

本研究顯示了海洋高頻陣列雷達系 統進行船舶辨識的結果,未來可與船舶 自動識別系統互補,有助於航港單位做 為船舶監控應用,提升船舶航行安全。

參考文獻

- Chuang, L.Z.H., Chung, Y.J., and T ang, S.T., "A Simple Ship Echo Ide ntification Procedure With SeaSonde HF Radar", IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 12, ,2015, 2491-2495.
- Dzvonkovskaya, A.L., and Rohling, H., "Target Detection with Adaptive Power Regression Thresholding for HF Radar", CIE International Conf

erence on Radar,2006, pp. 1-4.

- 3. Dzvonkovskaya, A.L., and Rohling, H., "HF radar ship detection and tr acking using WERA system", IET I nternational Conference on Radar S ystems, 2007, pp. 1-5.
- 4. Dzvonkovskaya, A., Grugel, K.W., Rohling, H. and Schlick, T., "HF ra dar WERA application for ship dete ction and tracking", European Journ al of Navigation, Vol. 7, No. 13, 2 009, pp. 18-25.
- Fernandez, D.M., Vesecky, J.F., Barr ick, D., Teague, C.C., Plume, M.M., & Whelan, C., "Detection of ships with multi-frequency and CODAR SeaSonde HF radar systems", Canad ian Journal of Remote Sensing 27, 2001,277-290.
- Jen, J. J., "A study of CFAR imple mentation cost and performance trad eoffs in heterogeneous environment s", Doctoral dissertation, California State Polytechnic University, Pomon a, 2011.
- 7. Laws , K., Vesecky, J.F. and Padua n, J.D, "Using HF surface wave rad ar and the ship aitomatic identificati on system (AIS) to monitor coastal vessels", IGARSS 2009, IEEE Pres s, Cape Town, South Africa, USA, 2009.
- Laws, K., Vesecky, J., & Paduan, J., "Monitoring coastal vessels for e nvironmental applications: Applicatio n of Kalman filtering", In, 2011 IE EE/OES 10th Current, Waves and T urbulence Measurements (CWTM), 2 011, pp. 39-46.
- 9. Laws, K., Vesecky, J., & Paduan, J., "Predicting the capabilities of shi p monitoring by HF radar in coasta

l regions", In, OCEANS'11 MTS/IE EE KONA, 2011, pp. 1-5.

- 10.Ponsford, A.M., "1984 Feasibility St udy of HF Ground-Wave Radar for Tracking of Ships". In. Final Report British Admiralty by University of Birmingham. 1984.
- 11.Ponsford, A.M., "Surveillance of the 200 Nautical Mile Exclusive Econo mic Zone (EEZ) Using High Freque ncy Surface Wave Radar (HFSW R)", Canadian Journal of Remote S ensing, 27, 2001, 354-360.
- 12.Ponsford, A.M., & Wang, J. "A rev iew of High Frequency Surface Wa ve Radar for detection and tracking of ships", Turkish Journal of Elect rical Engineering and Computer Sci ences, 18, 2010.
- 13.Roarty, H. J., Barrick, D.E., Kohut, J.T. and Glenn, S.M., "Dual-use of compact HF radar for the detection of mid- and large-size vessels", Tu rkish Jourmal of Electrical Engineeri ng and Computer Sciences, Vol 18, 2010, No 3.
- 14.Sid-Ahmed, M.A., "Image processin g, theory, algorithms and architectur es", McGraw-Hill, 1994.