

環臺岸基海洋雷達系統附屬AIS船舶動態資訊接收及未來應用介紹

Introduction of the AIS Receiving System on TOROS Station and its Future Application on Ocean Radar Technique Development

楊文榮* 賴堅戊 徐堂家 林昆毅

財團法人國家實驗研究院 台灣海洋科技研究中心

摘要

本文旨在報導利用船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)應用在開發環臺岸基海洋雷達系統(Taiwan Ocean Radar Observing System, TOROS)的自動化天線場型量測(Antenna Pattern Measurement, APM)技術發展。台灣海洋科技研究中心(簡稱海洋中心)自2009年起迄今已完成19座海洋雷達站的建置,完成環臺測流目標,提供台灣周遭海域近即時的海流資訊,此外TOROS團隊並致力於改善觀測品質及系統穩定度;為開發利用AIS船艦資訊產出天線場型之技術,海洋中心自2018年6月起在枋寮及北堤等站架設AIS接收天線,建立船舶AIS資料庫,並著手分析高雄港周遭之船舶動態。根據2018年12月間所收集高雄港旁5MHz旗后雷達站,以A類船位報告(Position Report Class A)作為研究數據,並進行其空間位置分佈以及相對於雷達觀測之運動速度比對分析,其結果顯示船跡與雷達訊號具有極高的吻合度,顯示旗后站具有利用AIS船跡開發雷達天線場型量測的潛力。

關鍵字：高頻雷達；船舶動態資訊系統；天線場型

一、前言

海洋中心所採用的海洋雷達觀測系統為美國CODAR Ocean Sensor公司所研發之集成式高頻雷達天線系統SeaSonde；其測流原理乃是利用無線電波調頻中止連續波(Frequency-modulated interrupted continuous wave, FMICW)(Barrick, 1973: Antony, 2013)技術反射及散射表面海流產生的都卜勒頻偏(Doppler shift)來計算距離解析(Range resolution),進而推算海洋表面之徑向速度(賴堅戊等人, 2015); SeaSonde雷達天線的設計為2支水平正交的環形天線(cross loop)及1支垂直的全向性的單極(monopole)或雙極(dipole),分別產出自頻譜(self spectra)及交錯譜(cross spectra),環形天線與全向天線所收到的無線電波訊號強度(dB)比值所組成的天線場型(patten),並透過MUSIC(Multiple Signal Classification)演算法進行方向識別,因此天線場型成為此類雷達回波訊號源來向識別的重要依據。然而海洋環境及雷達系統之損耗,往往使得天線場型與理想場型有所差異,且可能隨著時空環境推移產生變化,因此良好的掌握天線場型成為維持此類雷達觀測品質的重要作業。

既有的CODAR SeaSonde接收天線場型量測(Antenna Pattern Measurement, APM)主要是透過船載發報器與GPS繞行測站特定距離並涵蓋接收最大扇形範圍,邏輯上外在環境不變則電磁波場型也不

會有變化,但天線、線圈、電纜等位於潮濕高鹽的海岸環境經常因鏽蝕、損壞需要保養、維修甚或更換,故TOROS平台訂定ISO 9001品質管理標準,原則上每站每年至少進行一次場型量測作業,若遇到更換接收天線、纜線與接收機時亦須重新量測天線場型。然而海上作業耗費人力、物力,又易受到海況影響作業品質,因此為改善場型量測品質與作業效率,本研究參考Emery等人(2014)方法,著手利用AIS資料自動化反演天線場型的技術開發工作。

二、AIS系統建置與訊號處理

TOROS附屬AIS系統建置

本研究所使用的AIS接收器為英國Comar System公司之AIS-3R,此裝置為雙通道接收,即87B(161.975MHz)及88B(162.025MHz)。船舶AIS訊息為特高頻(Very High Frequency, VHF),海洋雷達頻率工作範圍大約在為5MHz及13MHz,屬高頻(High Frequency, HF),以旗后站為例,其工作頻率為4.7MHz。AIS接收器採分時多工(Self Organized Time division multiple access, SOTDMA)傳輸協定(黃等人, 2016)輸出NMEA0183格式串流位元(byte stream)封包的ASCII資料,以RS-232序列擷取,鮑(baud)38,400 bit/s立即寫入伺服主機的資料庫,進行解碼與Archives,測站架構請見圖1,檔案文件格式如圖2所示。

自2018年6月起在枋寮、北堤、下龜殼、貓鼻頭及澎湖後寮的環臺雷達測站進行AIS接收天線的架設(測站位置如圖1右所示);高雄港區船隻進出頻繁，AIS訊號數量龐大，訊號傳送距離受天線高度、海上空氣溫度、濕度等因素影響，海上船隻數量亦受到海氣象影響，每日接收筆數約在10萬筆以上，旗后雷達站涵蓋範圍為本文研究區域，2018年12月份北堤(PETI)與枋寮(FALA)測站所接收到的資料總筆數為3,417,194，其中屬於A類訊息(Message Type 1、2、3)的筆數有2,505,744，B類(Message Type 18)有674,547，A類約為B類的3.7倍，港口西側航道及錨泊區船隻運動較為複雜，很多船舶在此區域轉向及錨泊，B類訊息船舶除噸位較小，身份資訊(Ship report)較也不齊全，故本文篩選A類訊號作為研究資料，所蒐集訊號統計分佈如圖3所示。

AIS傳送距離易受到海上空氣溫度、濕度影響，海上船隻數量亦受到海況影響，每日單一接收站可收到5萬至10萬筆間，報位數據落差極大，最遠距離也有很大的變化，有效距離範圍約在30海涅間(邱等人，2018)，約在55 km範圍內；AIS訊息解碼依ITU-M.1371規範之AIVDM/AIVDO協定解碼，由RS232擷取之NEMA0183原始ASCII字元轉ASCII編碼再轉換成十進位(decimal)數字，然後轉成長度(bits)6的二位元(Binary)0與1的編碼，依此對應各區段所代表的訊號，包含船舶水上識別碼(Maritime Mobile Service Identity, MMSI)、訊號類別代碼(Message type)共計有27種，主要包括了A類及B類動態的船位報告(Position report)及靜態的船舶身份資訊報告(Ship report)；在船位報告與身份報告中主要有船舶的水上識別碼(MMSI)，是資料檔中共通的重要欄位，在船位報告中包含了經緯度、船舶對地速度(Speed over Ground, SOG, 單位knots)、船舶對地航向(Course over Ground, COG)、船艏向(Heading, HDG)，以及傳送訊號時間等各項參數；由於訊號時間可能因發射源校時問題，因此常有誤差，故以接收端的系統接收時間(UTC)代替之，A類(class A)為符合國際規範要求標準，數據品質較B類(class B)正確可靠。另外訊號類別代碼5為A類船舶身份報告(Ship report)，因長度過長發送時分成2個封包先後發送，身份訊息中帶有船舶種類代碼(ShipType)，計有99種，大致分類為客輪(Passenger)、貨船(Cargo)、油輪(Tanker)等，船體的總長度由中心點到船艏(to_bow)與中心點到船尾(to_stern)相加而得，寬度由中心點到左舷(to_starboard)及右舷(to_port)長度相加而得，因此可以用來對應該比對移動船隻在雷達回波影響情形，有利於未來資料分析。



圖1. 枋寮海洋雷達站的AIS觀測系統與測站分佈。

Time(UTC)	MMSI	MSG	Lat(E)	Lon(N)	SOG(knot)	COG	HDG
2018-12-16 00:00:00	667001975	1	22.900117	120.126300	0.0	93.0	165
2018-12-16 00:00:00	098324354	18	23.169925	120.029428	0.9	192.1	511
2018-12-16 00:00:00	700056707	18	22.972767	120.082600	12.5	11.3	11
2018-12-16 00:00:00	200007941	18	22.949468	120.023305	3.3	350.8	511
2018-12-16 00:00:00	511456000	3	23.261002	120.022183	0.3	299.0	7
2018-12-16 00:00:00	416737900	3	23.293977	120.044597	0.1	127.5	1
2018-12-16 00:00:02	004161806	4	22.990950	120.147100	999	999	999
2018-12-16 00:00:03	416004047	1	23.043783	119.929750	11.3	116.7	511
2018-12-16 00:00:03	416458553	18	23.106268	119.954968	3.9	185.4	511
2018-12-16 00:00:03	412277000	1	22.870783	120.021300	9.4	165.0	165

MMSI	MsgType	IMO	Callsign	ShipName	Type	L	W	Draught
416020000	5	9172313	BIBM	KUO CHANG	70	70	70	6.6
416021000	5	9345635	BIBZ	CSE CLIPPER EXPRESS	70	70	70	5.9
477293700	5	9167681	VRM2@	DA SHEN	70	70	70	6.1
538007526	5	9582441	V71G8	PAN BICORN	70	70	70	10.4
352618000	5	9425265	3ENU2	GRAND ACE7	80	80	80	10.4
403518001	5	9459022	HZEJ	NCC NAJEM	82	82	82	9.2
538002591	5	9347712	V7JZ@	CAPE FARO	79	79	79	7.0
538003173	5	9365520	V7OW3	ROYAL EMERALD	82	82	82	9.1
416453000	5	9202211	BKIL	UNI-PROMOTE	74	74	74	9.0
312744000	5	9085388	V3EG3	OCEAN PRINCESS	80	80	80	12.0
416341000	5	9130559	BKNS	UNI-ADROIT	74	74	74	6.1

圖2. (上)每日自動排程產出位置報告及，(下)船舶身份資訊報告格式。

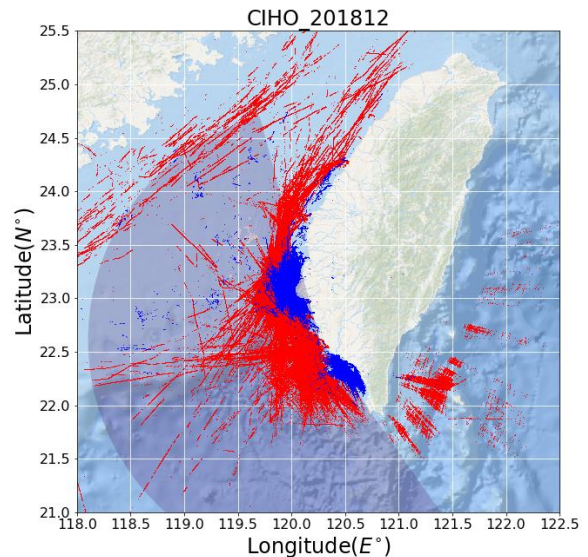


圖3. 顯示北堤及枋寮站AIS觀測資料的空間分佈，紅色為A類訊號，藍色為B類訊號，紫色扇形為旗后雷達站涵蓋區域。

AIS封包解碼方法

AIS原始封包為NEMA0813格式，編碼範例如下：

!AIVDM,1,1,,B,16<foT@P?w<tSF04Q@>4?wv0hK@,0*13

其中開頭「AIVDM」代表接收到其他船隻的訊息，「AIVDO」則代表收到自己發出的訊息，訊息分段以逗號分隔，第2段的「1」代表發出訊息時分多少個封包數發出，第3段的「1」與第2段相關聯代表這是第幾個封包號，例如訊息代碼5為A類訊號的船舶身份報告，其第2段應顯示為「2」，代表由2個封包合成的，第4段為「B」代表訊息由VHF的B通道發出，最後面為「*13」是檢查碼 (checksum)，中間的**16<foT@P?w<tSF04Q@>4?wv0hK@**為第6個片段是最主要的訊息封包(character payload)，進行ASCII-encoded。

AIS更新頻率

AIS更新頻率和船速有關，根據船舶識別 IUT-R M.1371-1 (Table 1a) 技術文件說明：於正常操作中，以訊息類別1、2、3者，AIS發報 (transponder) 將每2至10秒廣播位置報告，在錨泊或靜止且船速小於3節時更新頻率3分鐘，船速大於3節則10秒更新一次，而船速在0到14節時每10秒報位，有航向變化時3.3秒更新，14到23節時每6秒更新，有航向變化則2秒更新，船速大於23節時，不論有無航向改變都是每2秒更新，船舶各種狀態之更新頻率請參考表1。

表1. A類船舶移動設備報告時間

船舶運動狀態	間隔
錨泊或停泊，運動速度不超過3節	3 min
錨泊或停泊，運動速度超過3節	10 sec
0 到 14 節	10 sec
0 到 14 節且更換航線	3.3 sec
14 到 23 節	6 sec
14 到 23 節且更換航線	2 sec
大於 23 節	2 sec
大於 23 節且更換航線	2 sec

資料來源：IUT-R.M.1371-1 (Table 1a)

本研究所用的AIS位置報告時間為系統接收時間，船舶對的速度、距離均透過經緯度計算得之，初步僅刪除移動距離為0的資料，12月份總筆數34萬餘筆，經初步統計分佈概況，船舶航跡大量分佈偏北位於在295到355°間，高峰在335°多達將近14萬筆，其餘角度數量約在2千筆上下，請參考圖4。AIS觀測數據依船載量測APM的方法，將船舶移動速度及位置轉換成相對雷達站的徑向速度(Radial Velocity)及相對方位角(bearing)；旗后雷達站最大觀測角度為145到355°的扇形夾角，該雷達站最小距離單元解析為3.7067 km，由光速及2倍頻寬40.439KHz計算得之，設定雷達距離單元64層，因此最遠觀測距離為237.23km。為了製作antenna pattern，需要觀察各方位角船舶密度，轉換徑向速度並觀察其時間變化差異，區分成月(12月份, 31天)、週(12月16日到22日, 7天)、

日(12月16日, 24小時)，繪製成徑向速度與方位角的關係圖以觀察其分佈時間上變化情形；根據圖5顯示，月份資料在方位角的分佈上距離約50km內，徑向速度約介於±10 m/s 間，在325°速度擴散大且數量據密集，265°分佈最為狹小，從7天與24小時分佈來看，則可明顯看出在265°出現交叉分歧的現象，從地理位置推估為此角度約在旗后站正西方，為出高雄港口航道區，因此船舶在此分道揚鑣造成，詳見圖5。

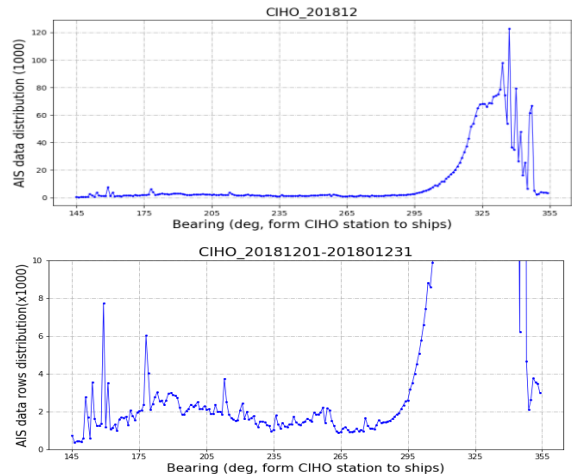


圖4. (上)AIS資料分佈相對於測站方位角大部分落在295°到350°間，(下)145°到265°數量分佈約在2000筆上下。

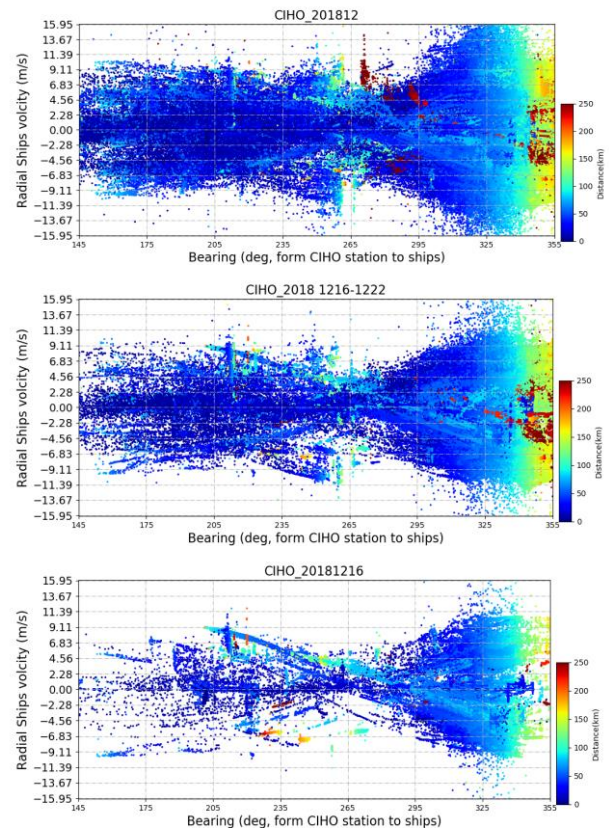


圖5 (上)顯示12月份、(中)7天資料、(下)24小時資料，AIS大部分資料分佈在50 km內，且徑向速度約介於±9m/s間，且資料再265°處產生分歧。

三、AIS與雷達回波資訊

AIS船舶轉換徑向速度

為了與雷達進行比對，擷取與雷達產出同時段所接收到的AIS數據進行統計與分析。雷達回波訊號產出最短時間的17分04秒，在同步時段間AIS測站所接收到的A類資料筆數計有1735筆，以MMSI分群計有63艘船，其分佈距雷達站50到100 km間，方位角240到350°間最多，徑向速度約在±7 m/s間，換算成航用單位為13.6節，請參考圖示6與7，地理位置分佈位在高雄港的西北，如圖8所示；這些資料對產出AIS APM來說，資訊密度稍嫌不足，後續亦將找出最佳時間長度，以滿足涵蓋每個方位角的觀測。

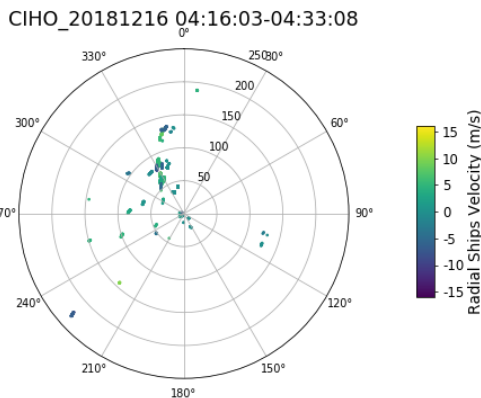


圖6. 顯示AIS 17分鐘資料分佈距離大部分在100km以內，方位角則介於240°到350°之間。

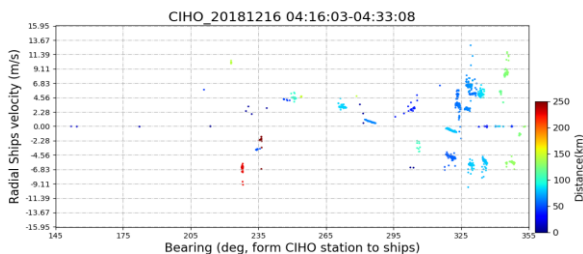


圖7. AIS徑向速度約略介於±7 m/s間。

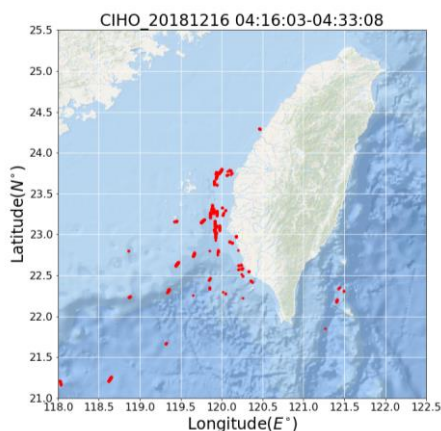


圖8. 與雷達同步17分鐘時段內收到的船舶位置空間分佈。

雷達回波都卜勒譜解析

根據原廠操作手冊，旗后 CODAR 雷達每 1024 秒(17 分 04 秒)產出 6 組時序列原始資料(副檔名為 .ts, Time series)，由系統設定參數：距離單元(Range cell) 解析分割 64 層，都卜勒頻移單元(Doppler bin) 為 1024 次的掃頻(swept-frequency)，經過快速傅立葉轉換(fast fourier transform, FFT)，將時序列資料轉為距離序列(副檔名 .rs, Rang series)，再經過第 2 次 FFT 轉換，獲得已帶有頻率的頻譜資料，副檔名為 .cs 之交錯譜訊列(Cross spectra series)，檔內為三支天線(環形及雙極發射天線所發出後反射及向後散射回來被接收天線捕捉到訊號，當然也包含背景的噪訊(nosic floor)，距離單元可由頻移寬度計算出每個單元的距離(Distance, km)，時間軸已變成頻率(Doppler Frequency, Hz)，SeaSonde 為求海流解析，會再進行 CSprou 程序濾除其他訊息包括船舶資料，因此擷取過濾前的 CSQ 檔的進行後續研究，CSQ 檔名規則以資料接收起始時間命名，檔案內容為二位元編碼，包含 64x1024 的浮點數(dtype=float64)矩陣。旗后雷達站工作頻率為 4.7MHz、頻寬 40.439KHz，由 FMICW 技術解析距離單元。

$$RC = \frac{c}{2} * BW$$

其中：RC 為距離單元(range cell)，c 為光速，BW 為調頻的帶寬，也稱之為頻寬，求得距離單元最小解析為 3.7067 km，最大為 237.23 km；偵測範圍受到頻率設定限制最大及最小都卜勒速度(Doppler Velocity, m/s)介於±15.946 m/s 間，最小都卜勒速度解析(resolution)則為約為 3.11 cm/s。

CSQ 檔內的數據為電壓值平方，根據 SeaSonde 原廠技術文件(CODAR, 2009)，將電壓值轉換為天線功率(dBm)之轉換公式為：

$$dBm = 10 * \log_{10}(voltage^2) + (-40 + 5.8)$$

其中：-40 為訊號損耗因子(factor to signal processing loss, FSPL)，+5.8 為接收單元的增益(gain)。

頻譜圖中間為零頻，左邊稱之為負頻，右邊為正頻，訊號強弱以色階呈現，其強弱變化則代表運動方向在方位角上的靠近或遠離，在頻譜圖中約在都卜勒單元 ±256 處或都卜勒速度 ±7 到 ±10 m/s 處，距離單元從近到遠都有強烈訊號出現，稱之為布拉格峰(Bragg peak)，此為雷達接收了由粗糙的海面反射、散射回來的電磁波所產生的能譜，此為一階峰，峰值形狀在距離分佈上有寬有窄，分佈越寬代表海流的徑向速度越快；正負一階峰之間散佈著許多點狀不規則訊號，這些訊號即可能代表著船舶航跡的訊息，也就是本研究想要掌握的重要訊息，能正確掌握AIS訊號在雷達頻譜的位置，未來就可確定能正確地產出APM。

但雷達回波是靠反射截面積，雷達波波長約為63m，船長過小或反射截面積太小，都不容易被雷達接收，此外雷達訊號容易受到外在電磁波干擾或頻段重疊等環境複雜原因影響，例如地下電台就是人為干擾的其中一種，會不定期或週期性的出現，在台灣西岸地區的測站受干擾情況比東岸嚴重，另外電離層也會影響此類高頻雷達的訊號傳遞與回波品質；為進行與AIS訊號比對，需挑選適當時段以達最佳解析，故將12月16日每間隔2小時之全向性天線所收到的雷達頻譜(Dipole, A3)集合排列(如圖9) 進行肉眼觀察比較，並擷取每2小時的CSQ檔都卜勒單元0到99及925到1024間的訊號強度(dBm)平均值，即64x200矩陣數值平均值，做為當時的背景值。以此案例，由圖10清楚發現UTC 04:16(當地時間正午)背景噪訊最低，故本文先挑選該時段數據做為後續研究的材料，我們也發現太陽下山後到子夜間，此無線電頻段之背景噪訊最強。

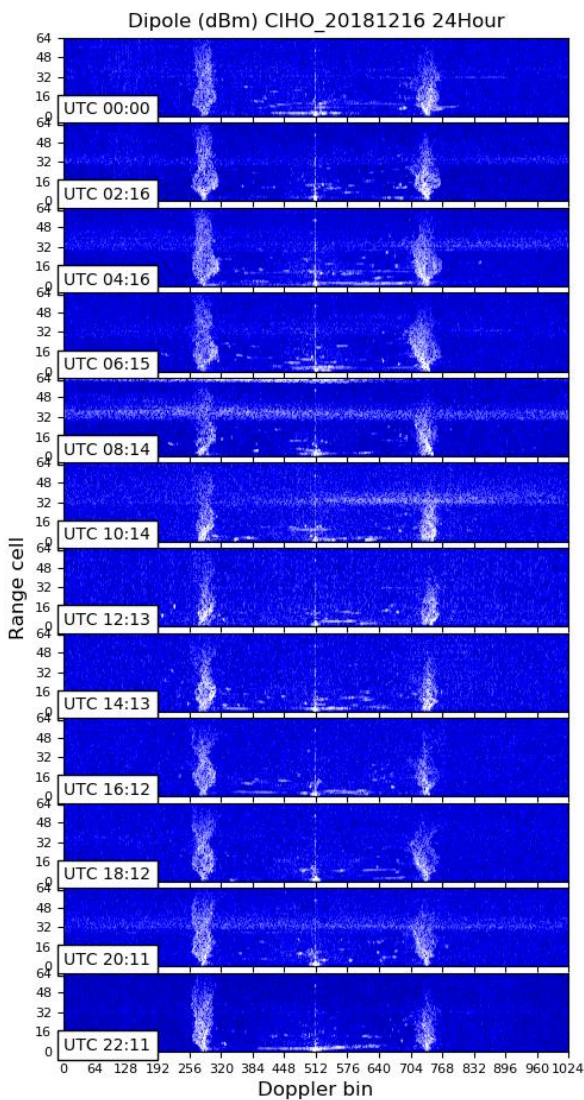


圖9. 12月16日當天每隔2小時的雷達回波訊號，UTC時間08點到12點間淺色較多，代表背景噪訊較高。

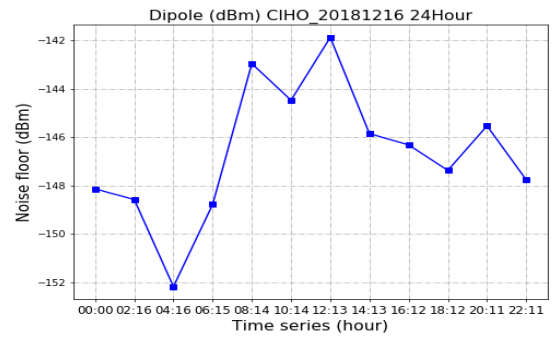


圖10. 背景訊號強度日變化曲線，明顯看出04:16分背景值最低。

AIS船舶動態與雷達回波譜套疊

將AIS徑向速度與雷達頻譜圖進行比對，該1024秒內計有1735筆Class A類的AIS資料，分類為63筆不同的水上識別碼，也就是63艘船；用的方法是數據套疊並繪製雷達回波圖，以肉眼觀察其疊合的情形，同時以顏色(colorbar)標示出船長便於對船舶大小分類及研判，請參考圖11顯示疊合前後的對照圖，由圖中可明顯看出疊合之位置非常相近且分佈形態也非常相似，有點狀也有類似軌跡的長條狀；由於船舶在航行期間AIS會以每2秒不等頻率更新發報，所有移動軌跡都會累積合成收錄在頻譜影像之中；由於雷達反射與目標物截面積有關，但因無船舶高度的資訊，故嘗試使用濾除船長小於雷達波63m的方法，但在此案例中發現吻合度並未顯著提升，反倒使得可比對的資料更少(見圖11下)。

進一步從04:16時的雷達頻譜圖中發現在距離單元29處都卜勒單元712處，出現的峰值訊號特別顯眼(如圖12)，且在AIS資料對應時間距離中也出現一艘

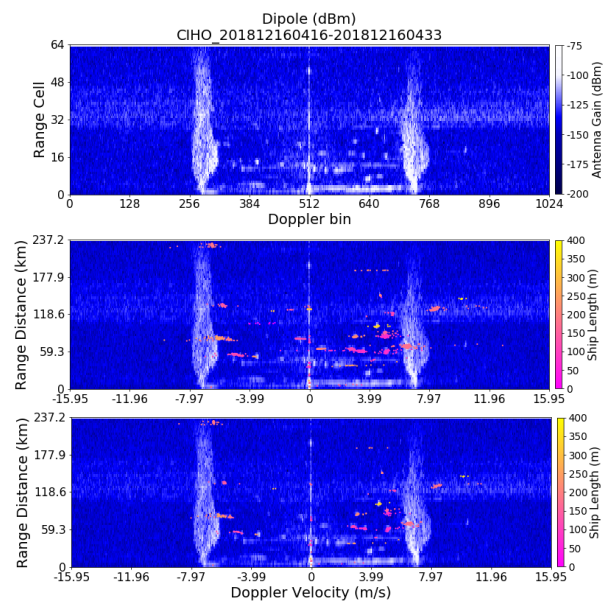


圖11. (上)雷達回波圖未疊合AIS資料前，(中)雷達頻譜圖疊合AIS資料後(粉紅色系colorbar代表船舶長度(m)) (下)濾除63m以下船長的AIS資料疊合。

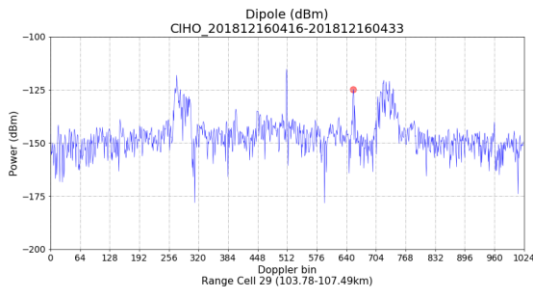


圖12.在距離單元29處除海流一階峰值以外，出現訊號特別強的峰值，如圖上紅點處。



圖13.出現在12月16日04:07 UTC的美國籍油輪(圖片來源：MarineTraffic.com)

大型船舶，即船舶長度330m、船寬60m，水上識別碼為636018156，美國籍，船名DRAGON(大山, TAIZAN)(如圖13)，船舶類別代碼為80之大型油輪(Tanker)。該船位於距離測站104.359公里處，約以12.09節速度航向207°，從雷達來看此船其相對於測站之方位角為248°，正以徑向速度4.726m/s遠離測站，因此在距離單元29的訊號強度圖可以明顯標出該船的訊號位置。

四、結論

將AIS訊號與雷達頻譜疊合發現訊雖未百分之百吻合，但多處吻合且位置、距離形狀大致相同，不吻合處大致分為有雷達無AIS或者有AIS無雷達，前者推測可能船舶未開啟AIS或B類未被列入及其他因素造成，後者則有諸多可能，如船身太小、船速過快等等，另外船身高度也是影響雷達回波訊號同時影響AIS接收距離的因子，但是卻是較難取得的資訊，需要後續再進一步釐清及探討。綜合以上結果，證明了AIS確實具有潛力發展出自動化APM技術，本文初步完成第一階段的AIS APM技術開發研究，後續仍有許多改善空間；以AIS資訊套疊雷達回波都卜

勒譜進行天線場型製作，需要足夠樣本數進行統計，未來AIS APM技術套用在全國各海域時，仍須注意船舶大小會受限雷達波訊號解析，雷達波長約為63m，小於此船身長可能無法解析出來，另外港灣區的航行狀態(Navigation Status)有錨泊、轉彎也會影響比對，各測站之背景噪訊(noise floor)狀況、區域船隻密度、船舶類型、甚至於天候影響都是研究課題。

誌謝

本研究在科技部資助國研院海洋中心之「海洋科技發展計畫」及「集成式海洋地波雷達自動化天線場型量測能量開發研究(I)」(計畫編號108-2623-E-492-001-D)下推展，特此感謝。也感謝成功大學莊士賢教授、陳禹儒博士候選人及海軍官校鍾育仁教授在船舶回波訊號相關的討論與指導。

參考文獻

1. Antony Joseph, (2014) "Measuring Ocean Currents: Tools, Technologies, and Data", Elsevier, p124.
2. Barrick, D.E. (1973) "FM/CW radar signals and digital processing," NOAA Technical Report, ERL283-WPL 26.
3. CODAR, (2009), "CODAR-Guides To File Formats", CrossSpectra File Format V5.
4. Emery, B. M., L. Washburn, C. Whelan & D. Barrick, J. Harlan, (2014) "Measuring Antenna Patterns for Ocean Surface Current HF Radars with Ships of Opportunity", *J. Atmos. Oceanic Tech.*, 31, 1564.
5. ITU-R, (2014) "Technical characteristics for an automatic identification system using time-division multiple access in the VHF maritime mobile band", M.1371-1, 2014.
6. 吳立中, 湯世燦, 黃清哲, 高家俊, (2012) "SeaSonde高頻雷達測流演算法之研究", 第34屆海洋工程研討會論文集
7. 邱永芳, 黃茂信, 楊奇達, 翁健二, (2018) "行動中繼傳輸技術應用於AIS系統之研發", *運輸計劃季刊*
8. 黃茂信, 邱永芳, 陳子健, 張立農, (2016) "船舶自動識別系統(AIS)之研究", 第38屆海洋工程研討會暨科技部計畫成果發表會論文集
9. 賴堅戊, 吳季莊, 黃郁軒, 陳少華, 李昶緯, 徐堂家, (2015) "環台岸基雷達測流系統的徑向徑向資料品管程序", *天氣分析與預報研討會, A5海象測報與應用-131*.
10. 賴堅戊 (2014), 台灣四周海域表層海流觀測年報, 台灣海洋科技研究中心, 技術報告, 2015-TR-018.