

運用AIS訊號驗證台灣附近海域大氣導管現象

Use AIS signal to verify atmospheric ducting phenomenon in the sea area near Taiwan

蔡世樵¹ (Tsai S.-H.) 楊朝淵¹ (Yang C.-Y.) 崔怡楓¹ (Tsui I.-F.) 雷伯瑞² (Lei P.-R.)

¹國防大學理工學院環境資訊及工程學系 ²海軍軍官學校電機工程系

¹ Department of Environmental Information and Engineering, CCIT, National Defense University

² Department of Electrical Engineering, R.O.C Naval Academy

摘要

船舶自動辨識系統(Automatic Identification System, 簡稱AIS)是利用無線電通訊技術, 透過發射與接收來傳送船舶靜態與動態資料; 包含船舶類型、船名、航行狀態、船位等相關訊息, 藉以提供用戶自動辨識海上船舶航行資訊的一套系統。其發射訊號的通用頻率約在162MHz(VHF頻段), 有效的通訊距離可達約20~30海哩。

2015年期間, 左營港AIS訊號天線所接收之船位資料顯示, 在其有效通訊距離外(60公里以上)約有389萬筆資料, 約佔該年度總資料數的7%, 推測其原因可能為當時之大氣環境有超折射或大氣導管的現象存在, 導致訊號傳遞距離的增加。超折射及大氣導管效應是電磁波可進行遠距離傳播的主因, 不論是發生在海洋上之蒸發導管或發生在高空之超折射或空中導管, 均可能使電磁波被陷補並以較小的路徑損耗傳播到更遠之距離。

為進一步驗證AIS訊號有效通訊距離增加之原因, 本研究選取台灣東部海域及海峽北部地區60公里以上船位資料數較多的日期, 利用該日期鄰近之探空資料及海面浮標資料匯入PJ蒸發導管模式, 獲得大氣折射率剖面, 進行電磁波射線軌跡模擬, 並針對該日期之綜觀天氣系統進行分析, 研判是否有超折射或大氣導管效應影響。研究結果發現, 選取之日期大多存在超折射、蒸發導管或空中導管之現象, 且電磁波射線軌跡亦有陷補現象發生, 顯示AIS訊號傳播的距離與超折射或大氣導管發生現象有顯著的關聯性。

關鍵字: 船舶自動辨識系統(AIS)、超折射、大氣導管、PJ蒸發導管模式、陷補

一、前言

大氣導管現象(Atmospheric Duct)其主要成因, 起源於空氣介質因其水氣、溫度、壓力等因素, 整體大氣並不為一均勻介質而造成。電磁波等能量再不同介質中傳遞, 因其在介質中傳遞速度差異而導致折射現象的發生, 大氣導管形成的機制, 則類似這種情況。電磁波在大氣中傳遞, 不斷受到外在之環境影響, 後形成類似全反射的現象, 導致電磁波的傳遞路徑被拘束於某個高層之中進行傳遞。因電磁波在此層中傳遞能有效的減少能量之消耗, 故當此現象發生時, 可以觀測到電磁波傳遞的路徑距離有明顯的增長。

然是否有大氣導管現象, 需透過探空氣象參數資料或衛星資料反演方式來得到大氣的折射率剖面分布, 並利用電磁波發射及接收站, 來觀測電磁波能量之衰減情況來判斷。囿於海洋上缺乏探空資料, 且其觀測

資料收集不易, 故研究海上大氣導管現象有相當的難度。而在統計2015年高雄AIS船舶訊號接收站之船位定位資料時, 發現有部分無線電訊號大於其平均可傳遞距離, 經分析該現象應與大氣導管的出現有密切關係。本篇研究期望能透過分析AIS訊號的異常傳遞及形成大氣導管的氣象環境, 來找出兩者間的關聯性。

二、文獻回顧

船舶自動辨識系統(Automatic Identification System, 簡稱AIS), 是船舶於航行及錨泊期間, 為保障其安全, 所使用的資訊交換系統。其所交換的資訊包含MMSI(水上移動業務識別)、船名、IMO號碼、船舶大小、種類、定位及航向、速等...攸關航行安全之資訊。在2000年12月, SOLAS(International Convention for

the Safety of Life at Sea) 又稱《國際海上人命安全公約》其公約修訂會議中,通過將 AIS 納入強制性安裝設備。凡符合其合約內規定條件之船舶,皆須依公約規定安裝且全時啟動。除特定船舶如軍艦,或可能危害船舶安全之狀況下,才可將其關閉。當其影響危安之狀況排除後,仍應將系統再行啟動。船舶自動辨識系統是以無線電訊號做資料傳遞及交換,其使用的頻段是由世界無線電會議於 1997 年訂定,使用 VHF 特高頻頻帶中的 161.975MHz 及 162.025MHz 作為 AIS 訊號之專用頻率。而該 AIS 訊號的傳遞距離,因天線高度而有所差異,最遠可達 20~30 海浬不等,另可由中繼站延伸其傳遞距離(邱等,2012)。

電磁波在大氣中傳播,受環境不同之影響,可能產生折射現象,依電磁波折射率的不同,可分為次折射(Sub-Refraction)、正常折射(Standard Refraction)、超折射(Super- Refraction)及陷補(Trapping)之現象,除次折射現象可能導致訊號傳遞距離縮短外,超折射及陷補狀況,皆可以降低電磁波傳遞之能量消耗,尤其以陷補之狀況最為明顯,當陷補現象發生時,會將電磁波限制在一特定高度層內進行傳遞,能有效減少能量耗損,大幅增加其可傳遞距離,稱大氣導管現象。

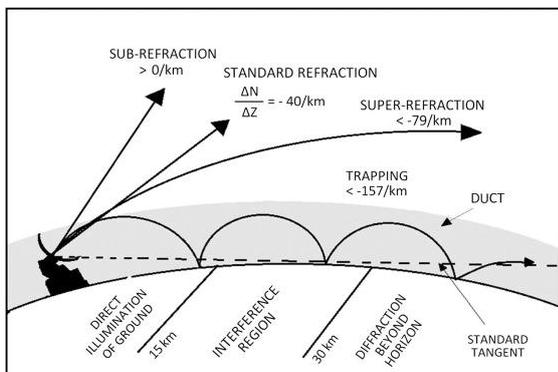


圖 2.1 電磁波傳遞示意圖
[摘自(CemilTepecik, 2017)]

大氣導管依其發生位置的不同,有以下幾種類型。在高空 1000~3000 公尺高度,因天氣沉降作用而形成的高空導管(Surface-Base Duct)。在陸地區域,因近地表氣流的舉生沉降在近地面數十至數百公尺生成的地面導管(Elevated Duct)。在海洋區域,因近海表面之大氣有來自海洋提供之充足水氣,使該環境多處於水氣飽和之

狀態,使近海面環境層折射率與該層以上之區域有明顯之差異,導致蒸發導管(Evaporation Duct)生成海面之上,進而影響航行船艦無線電訊號的傳播,其生成高度在 0~40 公尺之間,平均生成高度約在 13 公尺。

因大氣中的折射率與大氣中水汽分布有密切的關聯,故要最直接了解大氣導管現象的存在與否,便是利用探空氣球取得大氣中各高度的氣象參數如,溫度、露點、氣壓、濕度等資料,應用(Balsley and Gage,1980)論文中的公式(1):

$$n = 1 + \left(\frac{77.6P}{T} + \frac{373000e}{T^2} \right) \times 10^{-6} \quad (1)$$

其中 n 為大氣折射指數, T 為溫度(K), e 為水汽壓(hpa)、P 為壓力(hpa)。由於探空氣球的資料中只有露點及濕度資料,故水汽壓資料須透過以下公式(2)進行換算

$$e = 6.11 \times \text{EXP} \left(19.7 \times \frac{T_d(\text{C})}{T_d(\text{C})} \right) \quad (2)$$

上述公式中的 Td 為露點溫度。因為大氣折射指數 n 計算出來的結果,多在 1.0001 至 1.0004 之間,該指數差異甚少,為直觀的辨別出其差異,利用了以下的公式(3)得到了 N, 以其表示大氣折射率。

$$N = (n - 1) \times 10^6 = 77.6 \frac{P}{T} + 37300 \frac{e}{T^2} \quad (3)$$

將地球曲率之因素納入考量,大氣折射率 N 可透過公式(4)得到修正折射率 M, 其中 h 為高度, r 為地球半徑 6400km。

$$M(h) = \left[(n - 1) + \frac{h}{r} \right] \times 10^6 = N(h) + \frac{h}{r} \times 10^6 \quad (4)$$

當有各高度層資料,便可由上述 4 個公式,計算得到各層的修正折射率 M 的分布曲線。當 $\Delta N / \Delta h > 0N/km$ 或 $\Delta M / \Delta h > 157M/km$ 時,電磁波射線軌跡會偏離地表產生次折射(Sub-Refraction)。 $\Delta N / \Delta h$ 在 $-79 \sim -0N/km$ 或 $\Delta M / \Delta h$ 在 $79 \sim 157M/km$ 則為正常折射(Standard Refraction)。 $\Delta N / \Delta h$ 在 $-157 \sim -79N/km$ 或 $\Delta M / \Delta h$ 在 $0 \sim 79M/km$, 屬超折射(Super- Refraction), 射線軌跡會稍微偏向地表,可使電磁波傳遞距離稍稍增加。當 $\Delta N / \Delta h \leq -157N/km$ 或 $\Delta M / \Delta h \leq 0M/km$ 時,便會產生

陷補(Trapping)的情況發生，其射線軌跡曲率將大於地球曲率，由高空傳向地面。

由於大氣導管分布情形，需透過探空氣球等方式來取得各高度層之氣象參數，方可繪製修正折射率 M 剖面。受限於現實狀況，一般海面上探空資料稀少，且取得不易。美國海軍海洋系統中心，以蒸發導管預測模式中的 PJ 模式(Jeske, 1973; Paulus, 1984, 1985, 1989)理論及長期收集的氣象觀測資料庫為基礎，發展了一套工程折射效應預報系統 (Engineer's Refractive Effects Prediction System, EREPS) (Patterson et al., 1994)，也是美軍使用的高級折射效應預報系統(Advanced Refractive Effects Prediction System, AREPS) (Patterson et al., 1998)的前身，來預測電磁波的傳遞軌跡。這套系統可藉由輸入地面氣象觀測，如風向、風速、溫度、濕度、大氣壓力等資料，便可推估出蒸發導管分布之情況，進而推估電磁波之射線軌跡。

三、研究方法

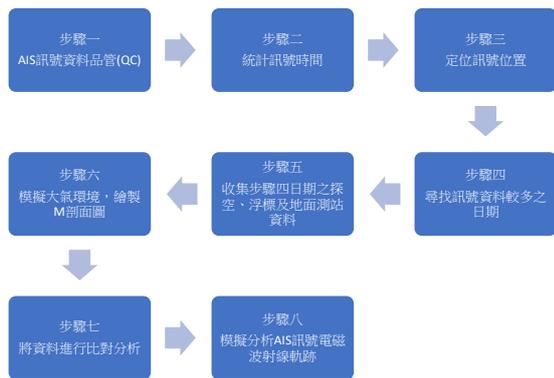


圖 3.1 研究流程圖

本研究流程如圖 3.1，利用位於左營港之 AIS 訊號接收站，藉該站所收到之船位訊號的點位分布進行分析。因一般 AIS 訊號有效涵蓋之範圍約 20 至 30 海浬，故當接收站若接收到大於該距離之船位訊號，可合理推測電磁波可能因為一些要素，而有著更好的訊號傳遞距離。

於 2015 年全年，左營 AIS 訊號接收站所接受到的船位訊號共計約有 5225 萬筆船位資料，其中約有 389 萬筆資料大於 AIS 資料的平均傳遞距離 30 海浬。因船舶中繼站的發展尚不普及，故不考量 AIS 訊號為因中繼站而增加傳播距離之資料。將 389 萬筆異常傳播資

料，假設皆由左營訊號站直接接收，這樣的訊號數量，約佔該年度總數的 7%，如圖 3.2。代表著約將近有十分之一的資料大於平均之傳遞距離。

月份	異常數據	船位訊號數	訊號船隻	異常數據比
1	371,958	2,851,870	3,064	13.04%
2	459,881	3,101,176	2,314	14.83%
3	222,631	4,137,229	2,595	5.38%
4	318,505	3,635,354	2,922	8.76%
5	222,810	4,441,277	2,705	5.02%
6	228,166	4,249,947	2,738	5.37%
7	135,582	3,766,866	2,601	3.60%
8	630,850	7,530,542	2,990	8.38%
9	359,545	4,444,815	3,524	8.09%
10	236,365	4,494,260	3,138	5.26%
11	513,552	4,600,327	3,116	11.16%
12	188,253	5,006,124	2,780	3.76%
合計	3,888,098	52,259,787	34,487	7.44%

圖 3.2 台灣周邊海域各月異常訊號分布情形

針對大於平均傳播距離資料，依距離、季節、區域進行分類及統計分析後，決定選取台灣海峽北部及綠島周邊海域來作為主要之研究區域。

選擇綠島周邊海域為研究範圍的原因為該區域至左營接收站中有山脈分隔兩個區域，其直線距離中間高程最高可達 2000 公尺，以常理而言，左營接收站應不可能接收到綠島海域之船位訊號，故將該海域列為研究目標之一。另外於台灣海峽北部區域，因其與左營接收站距離較長，其船位訊號資料頗具參考價值，且途中經馬公及板橋探空站，有較多資料提供分析，故亦將其列為研究目標。



圖 3.2 台灣周邊海域 30 海浬以上船舶訊號分布圖及研究範圍

東部綠島海域因船位訊號較少，故選擇在 2015 年當日有超過 100 筆的 AIS 資料，作為天氣分析目標，經統計該年共計 5 天的船位訊號大於 100 筆。台灣海峽北部區域因船位訊號較多，故統計每日大於 1000 筆船位資料的日期作為分析目標，該海域同樣有 5 天訊號大於 1000 筆資料。

本研究針對東部海域及海峽北部海域，分別選擇依船位訊號於當日的分布狀況，各挑選一個時段，利用地面圖、700 高空圖及斜溫圖等資料，對其進行天氣系統判讀，分析這些特定日期是否符合大氣導管生成之環境。後利用探空資料繪製地面至高空的折射率剖面圖，並將該日資料以 AREAP 系統模擬大氣折射情況，是否有造成大氣導管效應的陷補層存在。

四、個案分析

(一)2015 年 9 月 13 日東部海域

本個案船位訊號多集中於 15 至 24 LT，故利用該海域鄰近測站花蓮站 9 月 13 日 20 時的探空資料繪製折射率剖面圖。

由圖 4.1 折射率剖面圖可明顯看到在地面及高空皆有明顯的大氣導管現象。再自斜溫圖及圖 4.2 天氣圖中可看到台灣北部地區為受大陸高壓及南海熱帶性低壓影響之天氣型態，有強烈沉降逆溫的現象發生，符合大氣導管之生成環境。另利用資料模擬電磁波軌跡，天線高度為 10 公尺及射線角度為正負 1 度，傳遞距離 150 公里，如圖 4.3，亦可看到電磁波於陷補傳遞之情形。

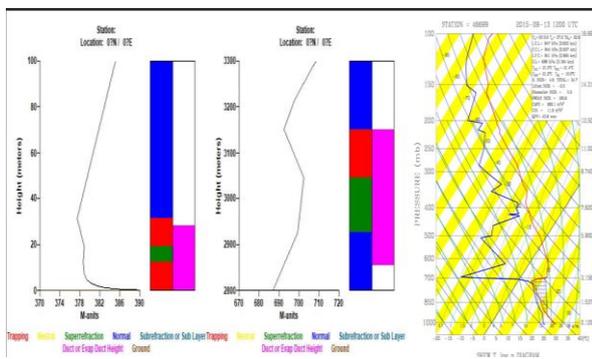


圖 4.1 9 月 13 日 20 時探空資料折射率剖面圖與斜溫圖

(斜溫圖資料來源:中央氣象局)

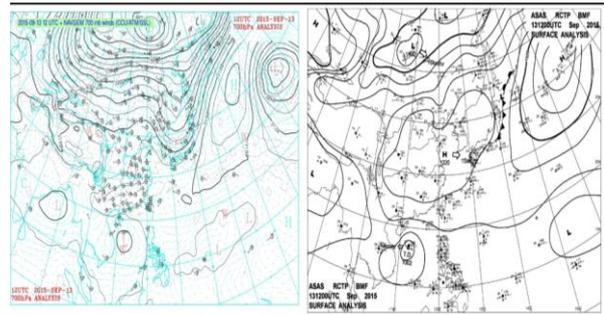


圖 4.2 9 月 13 日 20 時地面天氣圖及 700hPa 高空圖

(資料來源:中央氣象局)

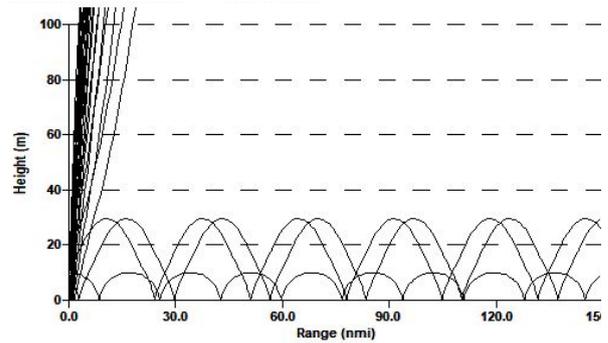


圖 4.3 9 月 13 日 20 時電磁波射線軌跡模擬圖

(二)2015 年 5 月 15 日海峽北部海域

本個案於 13 至 24 LT，有較多之船位訊號，故利用該海域鄰近測站板橋站 5 月 15 日 20 時的探空資料來繪製折射率剖面圖。

於圖 4.4 折射率剖面圖可見地表層有陷補層，在高空亦有些空中導管之存在。再自斜溫圖及圖 4.5 天氣圖中可看到台灣附近區域為受太平洋高壓影響之天氣，並有沉降逆溫的現象發生，亦符合大氣導管之生成環境。利用資料模擬電磁波軌跡，模擬條件與前例相同，如圖 4.6，可看到電磁波於陷補傳遞之情形。

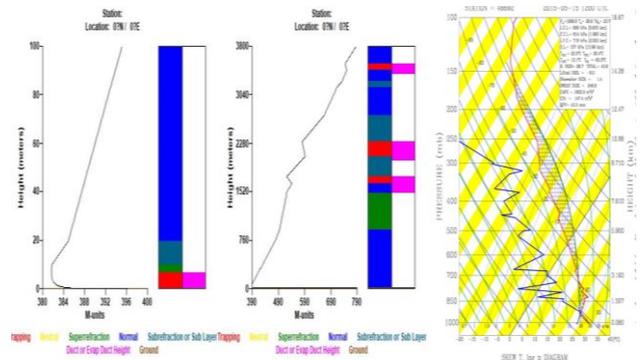


圖 4.4 5 月 15 日 20 時探空資料折射率剖面圖與斜溫圖

(斜溫圖資料來源:中央氣象局)

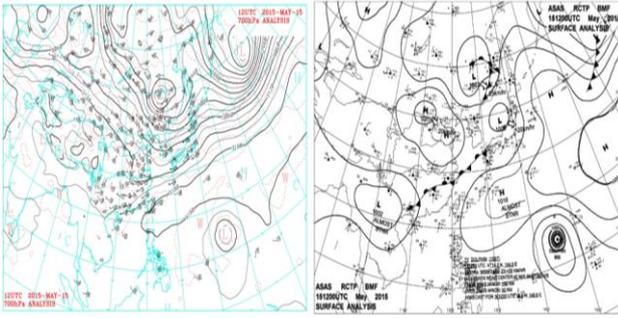


圖 4.5 5月15日20時地面天氣圖及700hPa高空圖
(資料來源:中央氣象局)

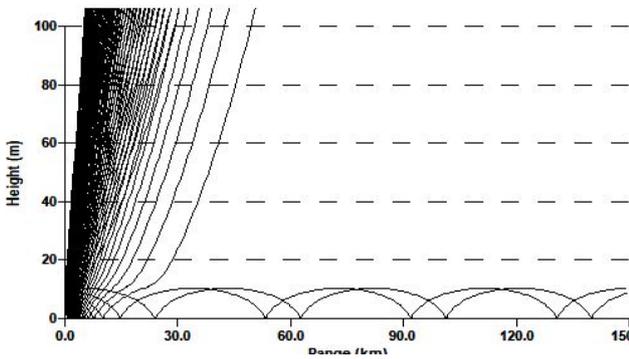


圖 4.6 5月15日20時電磁波射線軌跡模擬圖

綜合以上兩個案例，在分析船位訊號較多的日期中，多有如同上述案例之現象發生，因此可以合理推測當異常訊號增多的日子，多有大氣導管現象的存在。

本研究雖只選取兩個個案，但經統計研究分析，在2015年中AIS異常傳播訊號，大致有以下幾種天氣型態。

時間	大氣導管高度(m)	超折射高度(m)	逆溫層類型	逆溫層形成原因
2月14日	4.02(蒸發) 2830(空中)	4188	沉降逆溫	太平洋高壓
8月11日	15.91(蒸發) 1136(空中)	3520	沉降逆溫	熱帶性低壓
9月21日	15.48(蒸發)	2263	鋒面逆溫	滯留鋒
11月29日	16.31(蒸發) 2838(空中)	4098	沉降逆溫	大陸高壓

圖 4.7 其他訊號異常傳播天氣型態

五、結論及未來展望

由上述資料分析，當船位訊號較多的日期，透過天氣圖資分析，多有存在大氣導管之現象。這些特定日期之天氣系統亦多屬大氣沉降且相對穩定之天氣狀況。該天氣型態利於大氣導管現象的發生。本次研究透過中央氣象局探空資料及各項天氣圖資進行分析，因探空資料收集之大氣環境參數僅限於該探空站附近之區域，難以代表整體的大氣環境，故後續研究將著重在 WRF 模擬分析電磁波路徑之環境場，並以實際的探空資料作為驗證。另針對 AIS 訊號資料，因其隨季節、日夜及每年商業運輸的狀況皆不相同，若以異常傳播資料數來分析各季節之導管效應發生之狀況，恐有失真的疑慮，故期望利用其他年份之資料加入分析，以提升對大氣導管分析之準確度，其成果於氣象領域，可供氣象雷達觀測人員，避免因鬼波的發生，造成氣象預報上的誤判。於軍事領域，可提供軍艦或航空器雷達做應用，提升我國防偵蒐之能力。

六、參考文獻

1. Balsley, B.B., and K.S. Gage,1980 : The MST Radar Technique: Potential for Middle Atmospheric Studies, P Appl. Geophys., Vol.118 , pp.452-493.
2. CemilTepecik,2017: A novel hybrid model for inversion problem of atmospheric refractivity estimation. International Journal of Electronics and Communications. pp.258-264
3. Patterson, W. L. Hattan, C. P. Hitney, H. V. Paulus, R. A. Lindem, G. E. ,1994: Engineer's Refractive Effects Prediction System (EREPS) Version 3.0. Naval Command Control And Ocean Surveillance Center RDT and E Div San Diego Ca.
4. Paulus, R. A.,1989 : Specification for environmental measurements to assess radar sensors, NOSC Tech. Document 1685, pp.43.
5. Patterson, W. L. ,1998: Advanced Refractive Effects Prediction System (AREPS), Version 1.0 User's Manual. Naval Command Control And Ocean Surveillance Center RDT and E Div San Diego Ca.
6. 邱永芳、張富東、蔣敏玲、張淑淨、李良輝、薛憲文，2012:智慧型航行與監測系統之研究(3/4)。交通部運輸研究所專書。