

行動中繼傳輸技術應用於 AIS 系統之研發

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MOBILE RELAY TRANSMIT TECHNOLOGY APPLIED ON AIS SYSTEM

邱永芳 Yung-Fang Chiu¹

黃茂信 Mao-Hsing Huang²

楊奇達 Chi-Ta Yang³

翁健二 Chien-Erh Weng⁴

(107 年 6 月 22 日收稿，107 年 9 月 6 日第 1 次修改，107 年 9 月 25 日定稿)

摘 要

我國位處西太平洋第一島鏈的中心位置，亦為東北亞海上航運交通之樞紐，優越的地緣位置促使周遭海域上之海洋事務活動頻繁，航行船舶密度及海上交通流量被列為中高類別。有鑒於此，為有效掌握我國所轄海域內之船舶航行動態資訊，本研究針對船舶自動化識別系統 (Automatic Identification System, AIS) 之傳輸、接收方式進行兩階段的研究，第一階段為 AIS 接收端天線之效能改善設計，包括接收天線之設計、接收角度與架設場地之規劃等方式，予以提升 AIS 接收端天線接收效能。第二階段則是以行動中繼傳輸技術的方式延伸 AIS 資訊覆蓋範圍，透過在海上航行之船舶佈署 AIS 行動中繼站，並開發 AIS 行動中繼站之 AIS 訊號接收擷取及訊號解碼方式，再以中繼通訊方式將接收到的 AIS 資訊轉傳至岸台，使中繼站具備接收與轉發 AIS 訊號功能，從而向外延伸 AIS 的監測距離，藉以建立更廣泛的 AIS 資訊覆蓋區域。透過本研究成果，期望達到有效監測船舶

-
1. 國家海洋研究院籌備處主任。
 2. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員 (聯絡地址：43542 臺中市梧棲區中橫十路 2 號；電話：04-26587120；E-mail：max@mail.ihmt.gov.tw)。
 3. 國立高雄科技大學微電子工程系副教授。
 4. 國立高雄科技大學電訊工程系副教授。

航行動態資訊，並能更加清楚且全面地掌握我國周遭海域之船舶航行環境狀況，進而提升航行安全。

關鍵詞： 船舶自動識別系統；AIS 行動中繼傳輸技術；AIS 接收端天線設計

ABSTRACT

Taiwan is located in the central of Western Pacific first island chain as well as the marine transport hub in Northeast Asia. Because the superior geographical location promotes the marine activities on the surrounding waters frequently. Therefore, sailing ship density and maritime traffic are classified as high class.

Above all, in order to grasp the dynamic information of the sailing ships under the jurisdiction of Taiwan effectively, this project carries out two-stage research on transmission and receiving of the Automatic Identification System (AIS). The first stage improves the performance of the AIS receiving antenna, including the design of the antenna, plans of the receiving angle and base station site to promote AIS antenna effective distance. The second stage is to extend the communication coverage of AIS in the form of mobile relay transmission technology through deploying the AIS relay station on navigational ships and developing the receiving and decoding method of the AIS mobile relay transmission technology. The AIS information is transmitted back to the coast station by RF so as to have receiving and forwarding function, thus extending the monitoring distance of AIS to build a wider communication coverage. Through this project, we hope to achieve effective monitoring of ship navigation information, and more clearly and comprehensively grasp the situation of the navigation environment in the sea area around Taiwan, thus enhancing navigation safety.

Key Words: *Automatic Identification System(AIS); Relay transmission for AIS; AIS receiving antenna design*

一、前言

海洋帶給全球政經發展之重要性已毋庸置疑，因此海洋事務管理體系之建立，以維持船舶航行秩序進而提升航運安全與航行效率，一直以來都被列為智慧型海洋科技發展之指標方向。臺灣位於西太平洋第一島鏈的中心位置並緊鄰中國沿海省份，如此地緣關係，可以預想我國所轄海域範圍內將會有大量船舶往返形成高水域交通密度，因此，臺灣如何發展智慧型海洋運輸系統 (Marine intelligent transportation system, M-ITS) 提升海洋事務管理效力，以因應將來海洋運輸需求顯得格外重要。形成智慧型海洋運輸系統最基本要素，是將電子通訊與資訊技術、系統與網路，應用於船舶、港埠及船岸間，支援系統使用者進行資訊蒐集、儲存、檢索、分析與發佈。而船舶自動識別系統為海上航行安全監控帶來革命性的進步，有鑑於此，本研究以提升臺灣海域船舶自動識別系統通訊效能為目的進行研究。

1.1 研究目的

隨著資通訊技術的發展和海上交通運輸量的攀升，透過結合相關船舶航行設備進行船舶資訊的呈現，已是目前船舶自動識別系統 (Automatic Identification System, AIS) 技術發展主流趨勢之一。AIS 運用範圍相當廣泛，舉例而言，我國海巡署將 AIS 結合海巡岸際雷達偵測系統 (CGARIS) 數據與船舶交通服務系統、電子海圖和地理情報資訊，達成掌握海面即時狀況和海上船舶活動情形，以供指揮調度勤務進行。然而以現階段 AIS 技術發展而言，既有的 AIS 岸台基站有效收發距離僅約 20 至 25 海浬，若再加上岸台基站天線高度、船舶的 AIS 天線特性及天候狀況等眾多因素，AIS 岸台基站收發有效距離，可能無法達到理論上之有效最大評估距離。

基此，我們提出一種針對 AIS 岸台基站進行的行動中繼傳輸技術開發，主要用以改善 AIS 系統有效傳輸距離的限制狀況，使 AIS 系統藉由中繼傳輸的方式，能夠最大化提升系統資訊覆蓋範圍，向外延伸我國海域內船舶位置資訊的監測距離，並具備良好與可靠傳輸效能，以建立廣泛的 AIS 系統偵測範圍。

二、船舶自動識別系統發展現況與文獻回顧

長久以來海上安全一直是世界各國所注視的重點，如何進一步有效強化我國周遭海域之 AIS 船舶資訊與監測範圍，為一重要課題。然而在水域交通密度增高的發展下，海上船舶的風險程度亦可能隨之升高，也因此海上交通運輸已伴隨電子資通訊技術發展，而衍生出一套更能增進航行效率之數位化系統，透過資訊、系統與導航感測儀器之整合，實行 e 化航行發展策略，達到有效水路調度管理、強化運輸能力及提升航行安全等正向發展。目前海上船舶監測的方式，在離岸距離較為遙遠的遠洋區域大多以衛星通訊方式為主，而沿岸或近海區域則倚重無線傳輸技術，然現階段無線傳輸技術存在著有效傳輸距離受限的問題。為了使 AIS 系統資訊覆蓋區域更加廣泛，我們初步藉由探討 AIS 整體架構以掌握研究基點，並透過了解 AIS 運用現況、運作方式、系統頻率、設備規格、資料格式及電信法規等資訊，再與本研究之技術開發項目相互連結應用，驗證本研究技術開發成果之應用層面實質效益。

2.1 船舶自動識別系統技術規範

AIS 主要可分為 Class A 及 Class B 兩類，其中 Class A 為滿足國際海事組織 (International Maritime Organization, IMO) 所規範的性能標準和運輸規範之船載設備，應達到能夠接收和傳送包含重要導航警示或重要氣象警告的簡短安全訊息。國際海上人命安全公約中規範 300 總噸以上國際航線船舶、500 總噸以上國內航線船舶及所有客輪，皆須安裝 Class A 之船載設備。而 Class B 為普通船載設備，又可分為採用自組織時分多重擷取技術(self-

organized time division multiple access, SOTDMA) 及載波監聽分時多重擷取 (carrier sense time division multiple access, CSTDMA) 技術兩種型式，可以達到與其它 AIS 設備溝通，但並不完全符合 IMO 性能標準^[1]。

本研究以 Class B 普通船載設備為主，其必須遵照 AIS 接收機分時多工最小特性要求規範，其中較為重要的參數為 AIS 接收機之靈敏度要求為能夠解析訊號強度-107dBm 以上之 AIS 訊號。

根據國際電信聯盟所定義的 AIS 類型規範，目前已定義的 AIS 訊息資料類型 (message type) 有 27 種，分別適用於 Class A 和 Class B 之數據傳輸使用，而每種資料類型所定義的欄位格式和存放資訊內容又有所差異，以 Message 1 至 Message 3 為例，該資料類型為 Class A 進行船舶位置訊息回報所適用，而 Message 18 則用來回報 Class B 位置資訊^[2]。其採用的封包格式由 256bits 組成，如表 1 所示；AIS 類別比較則如表 2 所示。

表 1 AIS 封包格式

Ramp up	Training sequence	Start flag	Data	FCS	End flag	Buffer
8 bits	24 bits	8 bits	168 bits	16 bits	8 bits	24 bits

資料來源：ITU-R M.1371-5^[1]。

2.2 國內船舶自動識別系統研究與發展

自 1992 年起國際海事組織、國際航標協會 (International Association of Lighthouse Authorities, IALA) 和國際電信聯盟經過多次的研究規劃，定義了 AIS 系統的架構與技術內容，而後隨著資通訊技術的發展和海上交通運輸量的攀升，AIS 漸漸在海洋事務管理應用上發揮效益。我國利用 AIS 特點，擴大船舶交通管理系統 (vessel traffic service, VTS) 的工作範圍，並提高 VTS 精度，因此 AIS 於我國的發展備受重視；AIS 系統的發展期程如下所述。

2003 年，海洋大學在交通部科技顧問室委託之「船舶自動識別與報告系統整合規劃之研究」計畫中^[3]，完成了臺灣沿岸 AIS 網路的規劃與相關試驗。研究單位結合地理資訊系統 (geographical information system, GIS) 和電子海圖岸線資料，利用 MAPINFO 地理資訊系統的 Vertical Mapper 工具模組進行空間視域分析，得出了臺灣本島沿岸 AIS 基站的涵蓋分析範圍，從該研究可以得知由於 AIS 岸台基站傳輸有效距離僅約 20 海浬，作用範圍屬於沿岸區域，因此存在著無法完全涵蓋我國所轄海域範圍，未能有效達到船舶資訊動態的監測及航行安全管理^[4]。

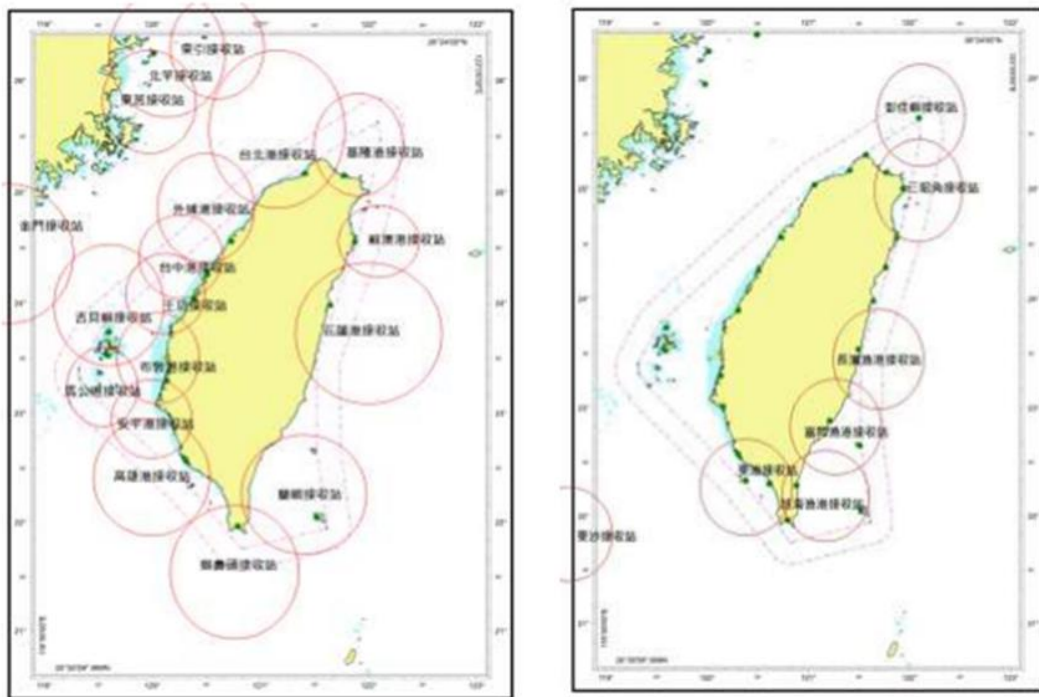
表 2 AIS 類別比較表

	Class A	Class B-SO	Class B-CS
主要採用技術	SOTDMA		CSTDMA
頻段	156.025 ~ 162.025 MHz (頻寬 25kHz)		161.500 ~ 162.025 MHz (頻寬 25kHz)
Digital Selective Calling	專用接收機	TDMA 接收機	
傳輸功率	12.5 W	5 W	2 W
位置資訊來源	船舶專用電子定位系統為主; Internal GNSS 為後備	Internal GNSS	
位置資訊回報	Message 1 : MMSI, Time-stamp, Position, Position Accuracy flag, RAIM flag, COG, SOG, HDG, ROT, Navigation Status, Communication State; Message 18 : 省略了 ROT、Navigation Status 並添加 : Type (SO/CS), Operating Mode, and, availability of a Display, DSC Receiver, Full/Limited Bandwidth, and Channel Management		
靜態和航程資訊回報	每 6 分鐘回傳訊息(Message 5)	每 6 分鐘回傳訊息 (Message 24A&B)	
	Message 5 : MMSI, IMO#, Call-sign, Name, Ship Type, Dimensions, Static Draft, Destination, ETA, EPFS type, Data Terminal availability, AIS version; Message 25A&B ; 添加了 Vendor ID 並省略了 IMO#, Static Draft, Destination, ETA, Data Terminal availability, AIS version		
應用和安全資訊	接收和傳輸	選擇接收，不能傳輸	
顯示和介面	Minimal Keyboard Display (MKD) ; 多重介面	選擇性裝設；1 個輸出／入端口	選擇性裝設
測試標準	IEC 61993-2	IEC 62287-2	IEC 62287-1
USCG Approval N _R .	USCG 165.155/x/x	USCG 165.157/x/x	USCG 165.156/x/x
預估成本	\$2,600-4,000	\$2,000	\$700-1,600

資料來源：U.S. Coast Guard Navigation Center^[2]。

2009 年至 2011 年，交通部運輸研究所臺灣技術研究中心 (以下簡稱「臺灣技術研究中心」) 先後完成基隆港、臺中港、高雄港、花蓮港、蘇澳港、臺北港、嘉義布袋漁港及苗栗外埔漁港等 8 個主要港口，以及澎湖馬公港、蘭嶼開元港、金門水頭港、馬祖碧山等 4 個離島的 AIS 系統接收站設置，並整合船舶動態資料，利用 AIS 資料庫和網頁伺服器建置臺灣海域船舶動態資訊系統，提供船舶航行公開資訊，並開發「船舶動態地理資訊模組」、「船舶統計分析模組」、「港口資訊與接收站統計分析模組」、「港口與船舶相簿管理模組」、「網頁討論區模組」及「權限控管模組」等六大模組供操作使用^[5]。

根據「臺灣海域船舶自動識別系統 (AIS) 之研究」文獻中^[5]，我們可以得知目前港灣技術研究中心所架設的 AIS 岸台基站，在 AIS 船舶資訊應用方面，主要可協助蒐集船舶即時資訊及船舶歷史軌跡，藉以分析與統計行經臺灣海域的船舶特性及航路分布情況，予以提供最佳化的航線，或是提供船難發生歷程預防救災單位，以進行必要的救援工作及釐清船難的責任歸屬。我國 AIS 岸台基站架設位置與系統覆蓋範圍如圖 1 所示。



現階段臺灣海域 AIS 接收站設置地點

臺灣海域 AIS 接收站設置地點規劃

資料來源：[5]。

圖 1 我國 AIS 岸台基站架設位置

雖然目前國內 AIS 岸台基站已經佈署於沿岸各地，但受到地球曲率將水平範圍限制在離岸約 70 公里的條件下，AIS 設備的有效通訊距離大多落在 20 至 25 海浬，這意味著 AIS 資訊覆蓋範圍主要應用在沿海地區或為鄰近船舶間的資訊交換。而岸台基站或管理單位方面，則是藉由資訊網頁平台結合資料庫的方式，將 AIS 相關資訊包括船舶 MMSI、IMO 編號、呼號與船名、船隻大小、船舶類型、座標位置、航速與航向、行駛狀態等資料呈現。

三、AIS 接收端天線之效能改善設計

3.1 研究方法

在前章節相關探討得知，既有的 AIS 岸台基站有效收發距離僅約 20 至 25 海浬，若再加上岸台基站天線高度、船舶的 AIS 天線特性及天候狀況等眾多因素，AIS 岸台基站收發有效距離可能無法達到理論有效最大評估距離。基此，本研究從兩部分著手進行 AIS 系統資訊接收效能改善：首先是重新設計 AIS 岸台基站接收端的天線設計，藉以強化、改善 AIS 訊號接收效能，其次則進行 AIS 行動中繼傳輸技術研發，以延伸我國所轄海域範圍之 AIS 訊號接收範圍。以上研究成果分別於本小節及下一小節進行說明。

3.2 天線設計理論

在理論推導的部分，由於使 AIS 資訊在有效傳輸範圍內達到最良好的接收效益，為本研究主要目的之一，因此需要從電磁學概念和接收效率之理論公式作為起始，推導作用於接收效率的相關參數與條件，並加入各種環境因素及相關機制，並結合大量天線設計理論，以找出最佳方案，包括採用何種天線型式、天線結構大小以及各項參數特性，皆須在研究過程中重新推導及分析理論公式，藉以更進一步規劃出 AIS 接收端天線雛型架構。

3.3 AIS 接收端天線設計流程

弗林斯 (Friis) 傳輸公式推導，假定兩天線在自由空間中存在一段距離 (R)，其中發射端天線為 (T_x) 而接收端天線為 (R_x)，如圖 2 所示。

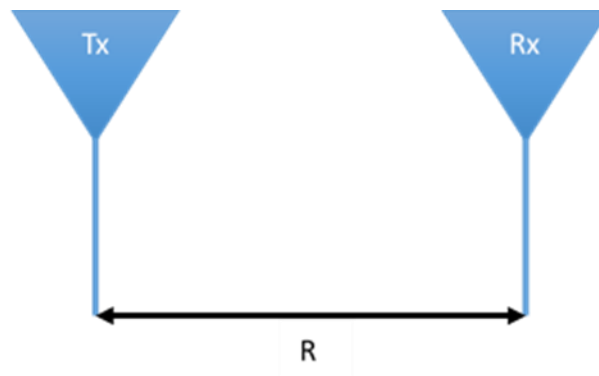


圖 2 天線傳輸示意圖

假定總功率 (P_T) 被傳輸到發射端天線，該天線為全向性 (omni-directional) 且無損失的，而接收端天線位在發射天線遠場中，此時由發射端天線入射至接收端天線之平面波功

率密度 (p) 可表示為：

$$p = \frac{P_T}{4\pi R^2} \quad (1)$$

如果發射端天線在接收端天線之方向具有天線增益 (G_t)，則式 (1) 可改寫為：

$$p = \frac{P_T}{4\pi R^2} G_t \quad (2)$$

假設接收端天線有效孔徑為 (A_{ER})，此時接收端所接收之功率 (P_R) 為：

$$P_R = \frac{P_T}{4\pi R^2} G_t A_{ER} \quad (3)$$

又因為任何天線之有效孔徑 (A_e) 可被表示為：

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} G \quad (4)$$

將式 (4) 帶入式 (3) 後可得接收功率為：

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4\pi R)^2} \quad (5)$$

然而總功率 (P_T) 以及發射端天線增益 (G_T) 皆視海上船舶所搭載之 AIS 設備而定；波長 (λ) 受 AIS 技術規範頻率範圍落在 161.975MHz 及 162.025 MHz 之間，故波長約為 1.8 公尺；發射端天線與接收端天線距離 (R) 取決於船舶航行距離，故對 AIS 基站而言，上述皆為不可控之因素。

港灣技術研究中心現階段所使用之天線如圖 3 所示，為一般無線電通訊中最為廣泛使用之雙極天線 (dipole antenna)，雙極天線通常由左右對稱的兩個相同元件所組成，並在兩元件中間施加驅動電流，其輻射場型 (radiation pattern) 為全向性且方向增益 (gain) 約為 3dB。



圖 3 雙極天線

由弗林斯傳輸公式得知 AIS 基站接收端天線增益 (G_T) 為本研究改善之重點，然而據不同的天線型式進行探討後，分析出八木宇田天線符合上述所需特點，最適合作為本研究 AIS 接收端天線使用，故本研究將以八木宇田天線之型式進行設計。AIS 基站天線雛形結構如圖 4 所示。

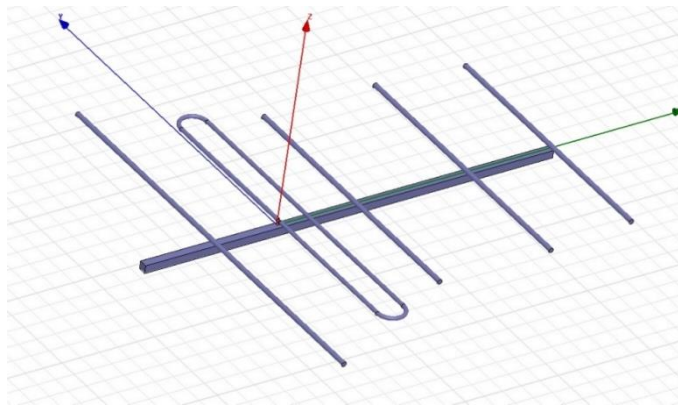


圖 4 AIS 基站天線雛形結構

四、AIS 行動中繼傳輸技術研發

4.1 研究方法

由第二小節的資料分析及文獻回顧可得知，AIS 基站傳輸有效距離僅約 20 至 25 海浬，作用範圍屬於沿岸區域，因此存在著無法完全涵蓋我國所轄海域的問題。有鑑於此，本小節提出以 AIS 行動傳輸中繼傳輸技術，以提升 AIS 傳輸距離，從而延伸我國所轄海域範圍之 AIS 訊號接收範圍，有效達成船舶動態資訊及海上航行環境狀況之監測與安全管理。

4.2 AIS 行動中繼傳輸系統

本研究中所提出之中繼傳輸技術概念，可看作是一無線感測網路 (wireless sensor networks, WSNs)，WSNs 的概念最初是由美國加州大學柏克萊分校的智慧粉塵 (smart dust) 計畫所提出。本研究可將搭載 AIS 接收機之船舶，視為整個無線感測網路中的感測節點 (sensor node)，負責將 AIS 資訊回傳至中繼基站，而中繼基站則是扮演管理者節點 (manager node) 的角色，負責接收所有感測節點的資料。由於無線傳輸有著一定傳輸距離限制的條件，在某些情況下，感測節點因為傳輸距離的限制，無法將自身感測資料回傳至管理者節點，因此無線感測網路衍生出一種中繼的概念，透過一具備接收與轉發功能的中繼節點 (relay node)，將感測節點的感測資料，以中繼傳輸的方式轉發至管理者節點，從而有效擴大無線感測網路的覆蓋範圍。AIS 中繼傳輸技術概念如圖 5 所示。



圖 5 中繼傳輸技術概念

中繼傳輸技術之系統架構如圖 6 所示，其中 AIS 中繼站中的 AIS 接收機，負責接收及解析附近船舶之 AIS 資訊，透過微控制器進行 AIS 資料擷取，並撰寫演算法進行資料處理，接下來利用中繼傳輸設備將 AIS 資料轉傳至陸地上的中繼基站，而後以序列埠傳輸的方式，將 AIS 資料匯入至 AIS 資料庫內。

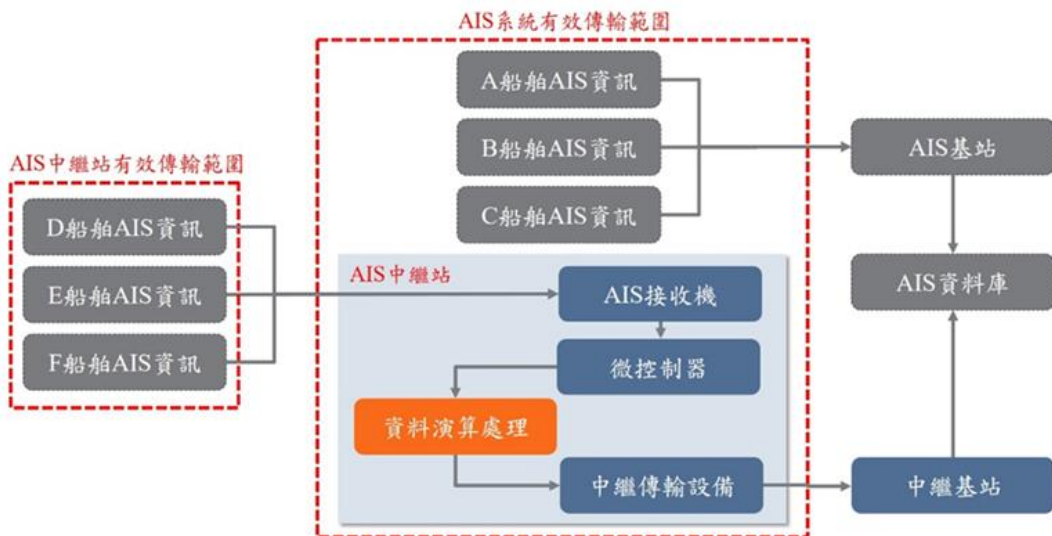


圖 6 中繼傳輸技術系統架構

4.2.1 AIS 封包資料格式

如上述中繼傳輸技術之概要說明，將 AIS 中繼站比擬為感測節點，初步時必須憑藉中繼站上之 AIS 接收機接收鄰近海面上其他船舶的動態資訊，接下來進行 AIS 資料演算處理使其與中繼傳輸系統整合，再運用 Arduino 微控制器由 AIS 接收機來擷取所接收到的船舶 AIS 資訊。

本研究針對微控制器所擷取的船舶 AIS 資訊撰寫演算法使其與中繼傳輸系統整合，依據國際電工委員會 (International Electrotechnical Commission, IEC) 所制定的 IEC61162-1 標準中，支援二進制資料封包傳輸格式，IEC61162-1 標準包括了資料的編碼、解碼和結構，就 AIS 資料格式而言，二進位資料之格式可參考 ITU-R M.1371 系統規範得知，前面小節中已提及目前已定義的 AIS 訊息資料類型 (message type) 有 27 種，分別適用於 Class A 和 Class B 中數據傳輸使用，而每種資料類型所定義的欄位格式和存放資訊內容又有所差異。

由微控制器所擷取之 AIS 資訊，以序列埠輸出之封包是以 6 Bits ASCII 編碼表示，又可區分為下列幾種類型：

1. VDM Message Format

!--VDM,x1,x2,x3,a,s--s,x*hh<CR><LF>

- x1 = Total number of sentences needed to transfer the message , 1 to 9
- x2 = Sentence number, 1 to 9
- x3 = Sequential message identifier, 0 to 9
- a = AIS Channel, "A" or "B"
- s - - s = Encapsulated ITU-R M.1371 radio message
- x = Number of fill-bits, 0 to 5

2. VDO Message Format

!--VDO,x1,x2,x3,a,s--s,x*hh<CR><LF>

- x1 = Total number of sentences needed to transfer the message , 1 to 9
- x2 = Sentence number, 1 to 9
- x3 = Sequential message identifier, 0 to 9
- a = AIS Channel, "A" or "B"
- s - - s = Encapsulated ITU-R M.1371 radio message 4
- x = Number of fill-bits , 0 to 5

3. ACA Message Format

\$--ACA,x,IIII.II,a,yyyyy.yy,a,llll.ll,a1,y1y1y1y1y.y1y1,a2,x1,x2,x3,x4,x5,x6,x7,a3,x8,hhmmss.ss*hh <CR><LF>

- x = Sequence Number , 0 to 9
- IIII.II, a = Region Northeast corner latitude – N/S

- yyyyyy.yy,a = Region Northeast corner longitude – E/W
- llll.ll,a1 = Region Southwest corner latitude – N/S
- y1y1y1y1y1.y1y1,a2 = Region Southwest corner longitude – E/W
- x1 = Transition Zone Size
- x2 = Channel A
- x3 = Channel A bandwidth
- x4 = Channel B
- x5 = Channel B bandwidth
- x6 = Tx/Rx mode control
- x7 = Power level control
- a3 = Information source
- x8 = In-Use Flag
- hhmmss.ss = Time of "in-use" change

4. Channel Management Information Source Messages (NMEA 0183 ACS)

\$--ACS,x,xxxxxxxx, hhmmss.ss,x1,x2,x3*hh <CR><LF>

- x = Sequence Number , 0 to 9
- xxxxxxxxxx = MMSI of originator
- hhmmss.ss = UTC of receipt of channel management information
- x1 = UTC Day, 01 -31
- x2 = UTC Month, 01 -12
- x3 = UTC Year

5. AIS Alarm Messages (NMEA 0183 ALR, Text)

\$--ALR,hhmmss.ss,xxx,A,A,c--c*hh<CR><LF>

- hhmmss.ss = Time of alarm (UTC)
- xxx = Unique alarm number
- A = Alarm condition
- A = Alarm acknowledge state
- c--c = Alarm description, text

根據上述各項 AIS 資訊標準規範，包含 AIS 訊息資料類型、訊息長度以及標頭格式等特性，設計一項資料處理演算法判斷 AIS 資訊並過濾錯誤訊息，使 AIS 資訊能夠完整及正確地整合至中繼傳輸設備中進行傳輸，予以達成 AIS 資訊與中繼傳輸系統的相容，同時降低傳輸資料負載量。

4.2.2 AIS 行動中繼傳輸設備

中繼傳輸設備部分，本研究採用 NX-700 Series 無線電收發機，此設備為 KENWOOD 公司所推出建構在 NXDN 數位協定下的通訊系統，能夠兼容傳統 FM 通訊，並提供了 88 個通訊頻道給使用者操作，透過序列埠將資料傳輸至中繼傳輸設備。然而在進行中繼傳輸前，必須使用相應的 KPG-111DM 程式，針對中繼傳輸設備進行相關設定。

在頻段的選用上，考量頻率與傳輸效率的關係，從弗林斯傳輸公式了解頻率越高的狀況下將會損失更多的功率，亦即路徑損耗較高，同時必須考量國際電信聯盟規範海上無線電之 VHF 频段為 156.0MHz 至 174.0MHz，因此在進行頻道之選用時，依據以上提及之傳輸效率關係及相關技術規範作為選用频段之參考要點，規劃出運用於中繼傳輸系統的通訊頻道。

在中繼傳輸的過程中，使用者可將搭載於船舶上之中繼傳輸設備與中繼基站視為主從架構，中繼傳輸設備從屬於中繼岸台基站，兩者之間屬於點對點傳輸 (peer to peer, P2P)，而無線電傳輸多以廣播方式進行資料傳遞，並不符合中繼傳輸系統之需求，因此直接透過對中繼傳輸設備的 ID 進行設定，使其能夠以個別 (individual) 傳輸的方式，向中繼基站轉發 AIS 資料，以達成本研究所規劃之中繼傳輸系統架構。

五、實驗結果與分析

本小節將根據所規劃之天線結構來進行後續 AIS 接收端天線製成，完成 AIS 接收端天線實體製作之流程，並實際測試船舶 AIS 訊號接收效能。而在 AIS 行動中繼傳輸系統部分，亦會針對中繼傳輸設備進行有效傳輸距離的測試，分析行動中繼傳輸系統所能涵蓋的通訊範圍，進而分析透過行動中繼傳輸系統在我國海域內所能延伸之 AIS 船舶位置資訊監測距離，達到驗證本研究成效之目的。

5.1 AIS 訊號接收效能實測

為印證本研究所提出之 AIS 接收端天線是否能提升 AIS 訊號接收效能，故將此天線與港灣技術研究中心現階段採用之天線進行實際量測與比較。如圖 7 所示，可以看出本研究所提出之 AIS 基站天線在 162MHz 模態上明顯優於原天線，且可利用第二模態拓展原有頻寬，讓此款天線在其他通訊系統上能夠有更多層面的應用方式。

接著，我們採用手持式頻譜分析儀 (handheld spectrum analyzer, HSA)，分別對兩款天線進行 AIS 通信频段之訊號強度量測。

首先是於 2017 年 3 月 27 日在港灣技術研究中心進行訊號強度量測，此次量測目的在於判定傳輸線損耗對 AIS 訊號的影響程度。本研究透過量測儀器，於港研中心機房內進行兩款天線的訊號量測，此量測端之訊號經過傳輸線造成損耗，因此該量測數值亦即 AIS 接

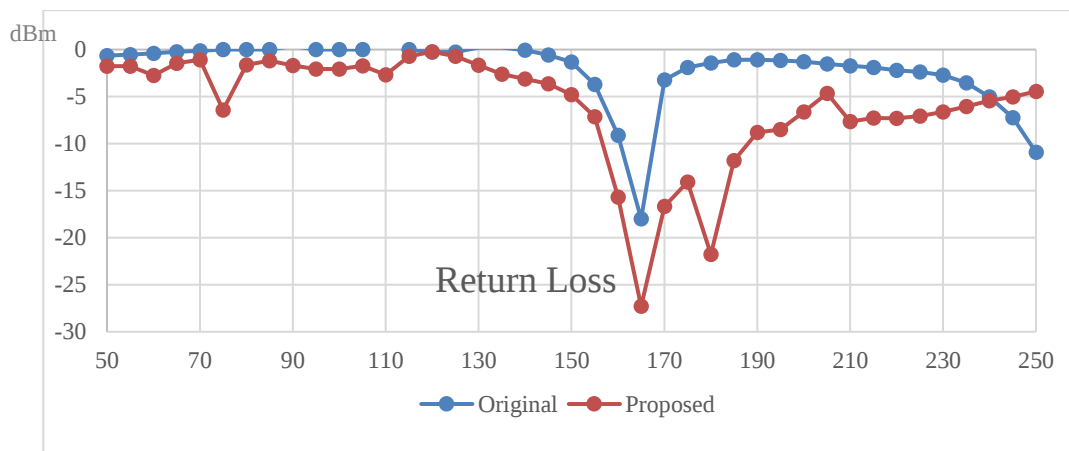


圖 7 AIS 接收端天線之反射損失比較

收機實際接收到的訊號強度，量測結果之峰值 (Peak) 約為-60dBm (如圖 8 所示)。爾後將測試地點轉移至頂樓進行訊號量測，因為沒有訊號傳輸線的損耗，量測結果之峰值約為-40dBm (如圖 9 所示)，訊號強度約為原訊號的 100 倍。由結果得知，能利用八木宇田天線高增益之特性，來彌補訊號傳輸線所造成的訊號損失。

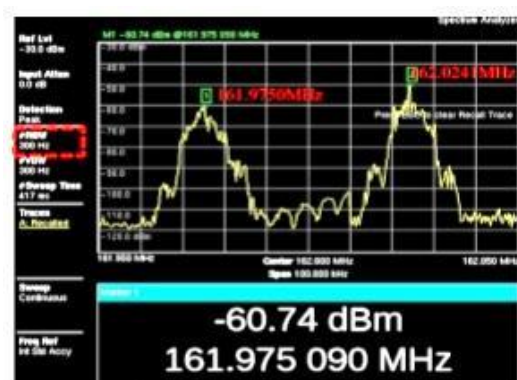


圖 8 機房內訊號量測結果

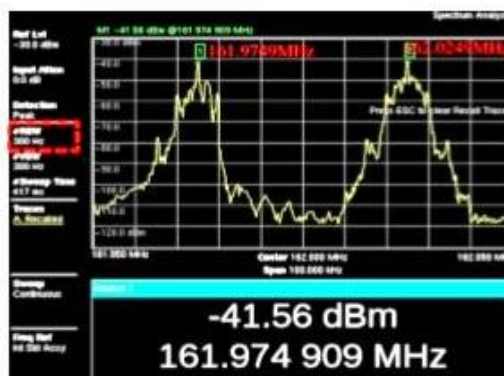


圖 9 頂樓訊號量測結果

於 2017 年 6 月 20 日，研究人員使用兩款天線在港灣技術研究中心頂樓進行訊號量測實驗，如圖 10 所示。

該量測地點位於港口邊，附近船舶數量較多，故所量測到之訊號也較強，在 AIS channel 1、channel 2 通信頻率點一樣有兩個峰值產生，而港灣技術研究中心現階段採用之天線訊號量測所得訊號強度為-94.97dBm (如圖 11(a) 所示)，本研究所提出之 AIS 接收端天線所量測到的訊號強度為-78.56dBm (如圖 11(b) 所示)，可發現在改善天線增益及輻射場型等特性後，AIS 訊號接收效能獲得大幅度的提升。

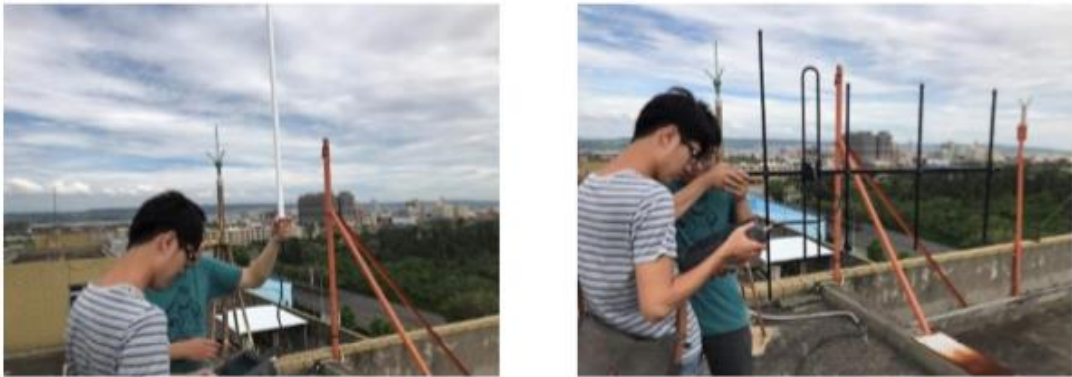
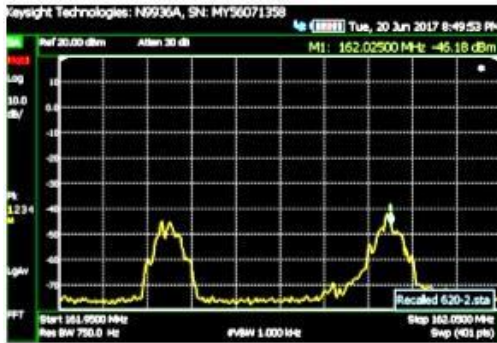


圖 10 AIS 系統天線訊號量測



(a) 港研中心現階段採用之天線



(b) 本研究所提出之 AIS 接收端天線

圖 11 訊號量測結果(港灣技術研究中心頂樓)

此外，本研究亦使用了 AIS 發射機作為固定 AIS 信號來源進行測試，並在 20 公尺外架設兩款天線來測試遠場 AIS 訊號接收效能，在頻率掃描範圍內有兩個峰值 (peak) 產生，分別落在 161.975MHz 與 162.025MHz，為 AIS channel 1、2 通信頻率點，而港灣技術研究中心現階段採用之天線信號量測所得信號強度為-43.23dBm，本研究提出之 AIS 基站天線量測所得信號強度為-30.18dBm，可發現在改善天線增益及輻射場型等特性後，AIS 訊號接收效能上獲得大幅度的提升。

最後，本研究在同一時間以及相同之測試環境下，分別使用兩款天線建置 AIS 接收系統模擬 AIS 岸台基站運作方式接收 AIS 訊號，並利用港灣技術研究中心所開發之電子海圖服務與資料安全系統來顯示接收所得船舶資訊，整體架構如圖 12 所示。

兩款天線接收 AIS 訊號後經過 AIS 接收機解析，並將解析所得之船舶資訊顯示於電腦之海圖系統 (如圖 13 所示)，藉由海圖比對可發現相同訊號來源，因為天線增益使接收訊號強度增加，原本較弱而無法被原天線接收之 AIS 訊號，在本研究所提出之 AIS 接收端天

線測試中獲得改善 (如圖 13(b)中橘色圈所示), 相對可判斷當傳輸距離延長而衰減之 AIS 訊號, 一定程度內仍可被解析出來 (如圖 13(b)及圖 14(b)中藍色圈所示), 進而提升 AIS 系統接收效能及傳輸距離。

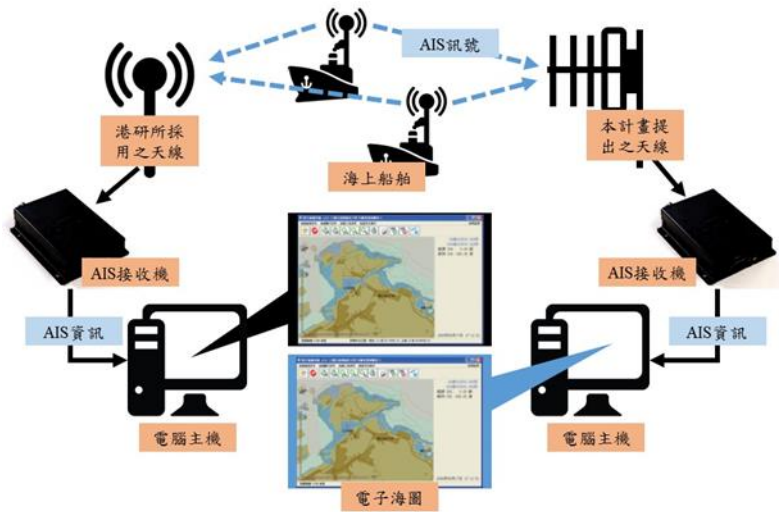
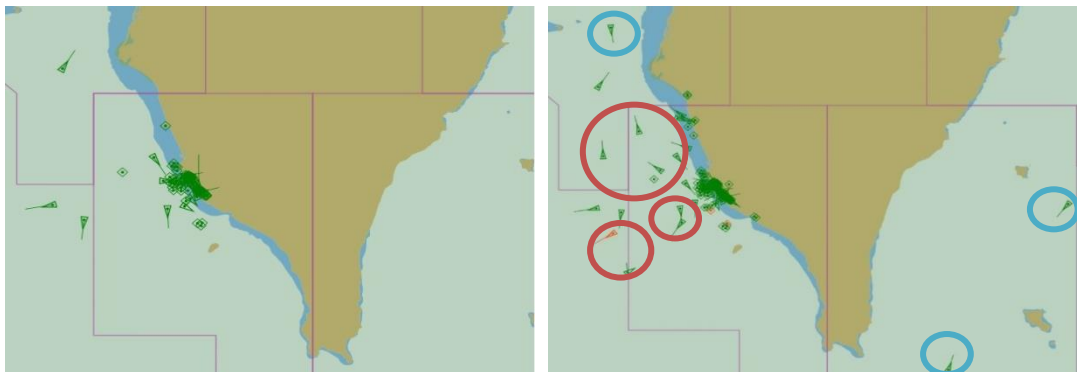


圖 12 AIS 接收系統測試架構



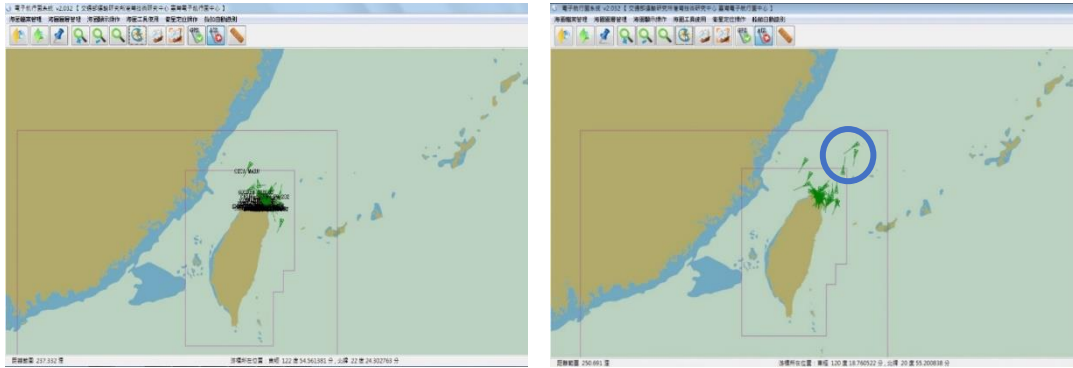
(a) 港研中心現階段採用之天線

(b) 本研究所提出之 AIS 接收端天線

圖 13 利用海圖系統進行接收效能比對 (量測位置：高雄海科大)

本研究利用模擬之 3D 輻射場型圖繪製出 2D 輻射場形，檢視 E-plane 和 H-plane 及其涵蓋角度，確認 AIS 接收端天線涵蓋角度後，在天線方向角度的規劃，理論上以 AIS 接收端天線最高增益方向與海岸線呈現垂直為準則 (如圖 15 所示)，如此將能達到最大海平面覆蓋範圍予以提升天線利用率。然而若想擴大 AIS 接收端天線涵蓋範圍，則可利用天線分

接頭及兩支天線，以多重輸入 (multiple-input) 的形式進行架設，即可增加涵蓋角度予以擴大 AIS 資訊接收範圍。



(a) 港研中心現階段採用之天線

(b) 本研究所提出之 AIS 接收端天線

圖 14 利用海圖系統進行接收效能比對 (量測位置：海洋大學)

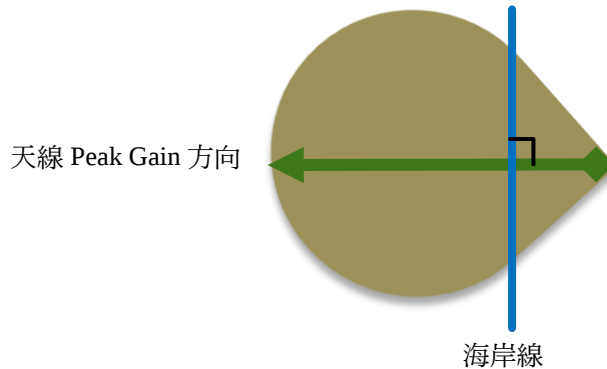


圖 15 天線方向角度之規劃

5.2 AIS 接收端天線涵蓋角度與架設規劃

接下來探討 AIS 天線接收角度；調整天線方向角、高度及俯仰角，為有效達成傳輸系統優化的方法之一，尤其適用於改善岸台基站接收、傳遞訊號之效能。因為本研究評估以高增益、指向特性顯著之天線為設計基準，故天線裝設之角度對天線效益之影響甚大，因此須參照經過上述步驟流程所設計之天線特性參數規劃 AIS 接收端天線之俯仰角；俯仰角度公式如下：

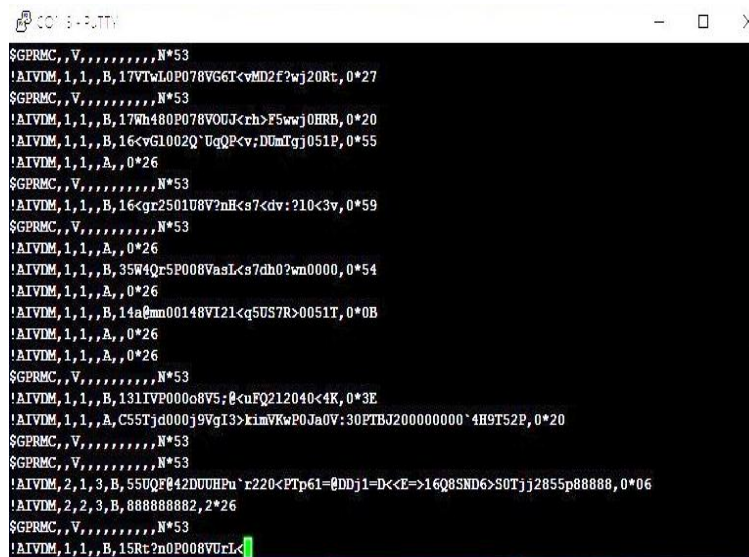
$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{H}{D}\right) + \frac{\beta}{2} \quad (6)$$

式 (6) 中, α 為傾角, H 為天線裝設高度, D 為覆蓋半徑, β 為垂直半功率角。此外, 在天線架設的過程亦需將環境因素納入考量, 進而避免天線受風影響造成結構損壞、淋雨氧化致使阻抗不匹配或遭雷擊等問題, 使整體天線場地、角度之設置規劃能符合實際應用。

5.3 AIS 行動中繼傳輸技術研發

5.3.1 AIS 資料演算處理結果

本研究運用 Arduino 微控制器, 由 AIS 接收機擷取 AIS 資訊, 從序列埠檢視該封包資訊如圖 16 所示, 可明顯發現其中夾雜了接收機本身之 GPS 資訊及格式不完整之 AIS 資訊。



```

$GPRMC,V,,,,,,,,,N*53
!AIVDM,1,1,,B,17VtwL0P078VGGT<vMD2f?wj20Rt,0*27
$GPRMC,V,,,,,,,,,N*53
!AIVDM,1,1,,B,17Wh480P078VOUJ<rh>F5wwj0HRB,0*20
!AIVDM,1,1,,B,16<vG1002Q`UqQP<v;D0mTgJ051P,0*55
!AIVDM,1,1,,A,,0*26
$GPRMC,V,,,,,,,,,N*53
!AIVDM,1,1,,B,16<qr2501U8V?nR<s7<dv:~10<3v,0*59
$GPRMC,V,,,,,,,,,N*53
!AIVDM,1,1,,A,,0*26
!AIVDM,1,1,,B,35W4Qr5P008VasL<s7dh0?wn0000,0*54
!AIVDM,1,1,,A,,0*26
!AIVDM,1,1,,B,14a@mm00148VI21<q5U57R>0051T,0*0B
!AIVDM,1,1,,A,,0*26
!AIVDM,1,1,,A,,0*26
$GPRMC,V,,,,,,,,,N*53
!AIVDM,1,1,,B,1311Vp000c8V5:0<uFQ212040<4K,0*3E
!AIVDM,1,1,,A,C55Tjd000j9VgI3>kimVKwP0Ja0V:30PTBJ20000000004H9T52P,0*20
$GPRMC,V,,,,,,,,,N*53
$GPRMC,V,,,,,,,,,N*53
!AIVDM,2,1,3,B,55UQF42DUUHpu`r220<PTp61=@DDj1=D<<E=>16Q8SND6>S0Tjj2855p88888,0*06
!AIVDM,2,2,3,B,888888882,2*26
$GPRMC,V,,,,,,,,,N*53
!AIVDM,1,1,,B,15Rt?n0P008VUzL<

```

圖 16 由 AIS 接收機所擷取的 AIS 資訊

經過本研究所設計之資料處理演算法後, 刪減了非 AIS 資訊並過濾錯誤訊息如圖 17 所示, 接下來即透過序列埠將 AIS 資料傳輸至中繼傳輸設備, 然而之間必須經過傳輸介面的轉換, 由微控制器之電晶體邏輯 (transistor-transistor logic, TTL), 轉換為中繼傳輸設備專用之 DB-25 介面。由於先前中繼傳輸設備以及中繼基站已經過相關設定, 故當中繼傳輸設備監聽到序列埠有資料輸入時, 即會進行資料轉發, 而中繼基站所接收到的 AIS 資料如圖 18 所示, 與圖 17 進行比對, 可發現 AIS 資料完整地轉發至中繼基站。

5.3.2 AIS 行動中繼傳輸系統實體

AIS 行動中繼傳輸系統實體如圖 19 所示, 採用序列埠監聽的方式, 將經由資料處理演算的 AIS 資料以及經由中繼傳輸之 AIS 資料, 於電腦端進行比對, 實際測試 AIS 資料傳輸

結果。確認 AIS 資料傳輸可正確執行後，則將 AIS 行動中繼傳輸系統的傳送端與接收端分別架設於兩處，並接上假負載進行傳輸，同時將接收端之 AIS 資料匯至港灣技術研究中心所開發之電子海圖，以檢視 AIS 資料是否可正確判讀和顯示；測驗結果確認 AIS 行動中繼傳輸系統能夠正確完成作業。

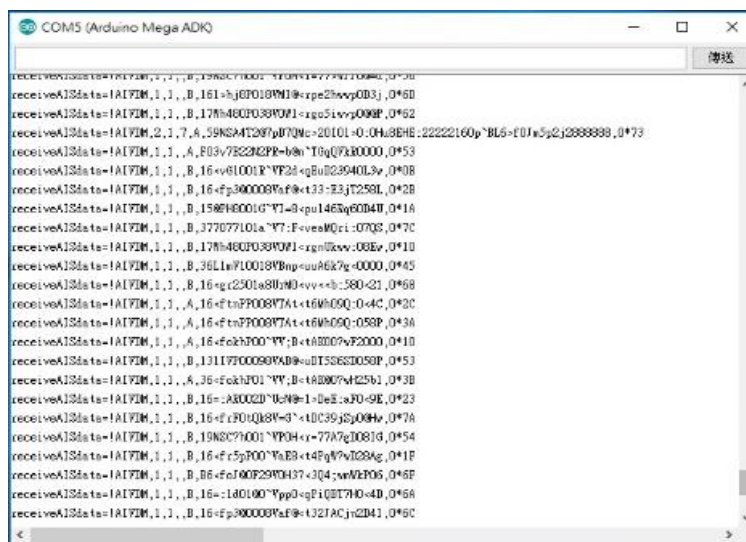


圖 17 經微控制器編譯後的 AIS 資料

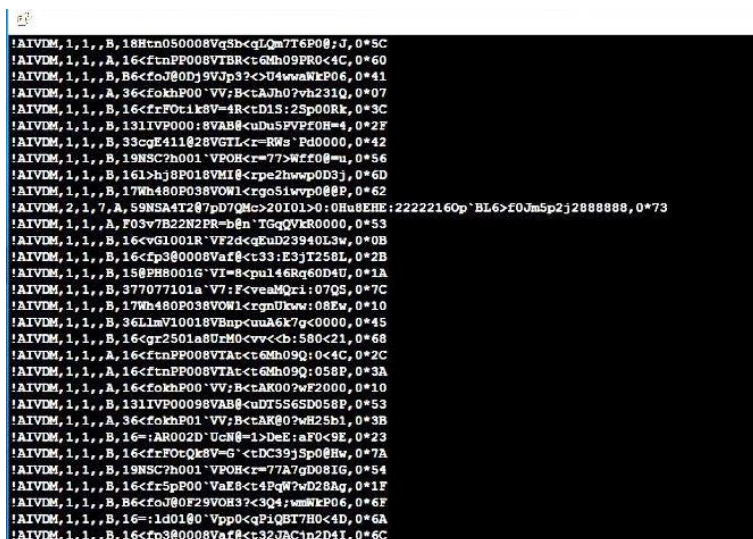


圖 18 中繼基站所擷取的 AIS 資料

由系統實體圖可了解 AIS 行動中繼傳輸系統所需之設備及配置 (不含 AIS 接收設備及電子海圖系統)，以下分別以中繼傳送、中繼接收端敘述，而系統所需之設備、材料含施工

費用概估為新臺幣 15 萬。



圖 19 AIS 行動中繼傳輸系統實體圖

5.3.3 AIS 行動中繼傳輸系統效能測試

AIS 行動中繼傳輸系統試驗完成後，本研究開始進行中繼傳輸設備有效傳輸距離的測試，以分析行動中繼傳輸系統所能涵蓋的通訊範圍。為模擬 AIS 行動中繼傳輸系統運作在海上之情形，研究人員將 AIS 行動中繼傳輸系統之傳送端架設於琉球國小，同時運用本研究所設計之 AIS 接收端天線來接收 AIS 訊號，並於臺灣西南沿岸包含：枋寮國小、枋山會館、楓港漁港及關山觀景台等 4 個測試地點 (如圖 20 所示)，分別架設 AIS 行動中繼傳輸



圖 20 AIS 行動中繼傳輸系統測試地點

系統接收端進行傳輸測試，並以港灣技術研究中心所開發之電子海圖檢視 AIS 資料，從而驗證 AIS 行動中繼傳輸系統之有效傳輸距離。

於 AIS 行動中繼傳輸系統中，本研究所採用的天線為 BC100 全向性天線，以中心頻率 155MHz 為基準，其導電銅芯的採用長度約為 1,130mm。由實測的結果得出，AIS 行動中繼傳輸系統之有效傳輸距離大於 30 海浬，並能將 AIS 資料透過中繼傳輸的方式，正確地回傳至岸台基站並顯示於電子海圖平台。

5.3.4 AIS 行動中繼傳輸系統於客貨船「臺馬之星」上之效能實測

前一小節中，本研究於小琉球與臺灣西南沿岸幾處地點進行 AIS 行動中繼傳輸系統傳輸效能實測，其目的為模擬中繼傳輸系統運作在海上之情形，測試結果中繼傳輸系統之有效傳輸距離約為 30 海浬，並能正確將 AIS 資料轉發且在電子海圖平台上顯示。接下來則將 AIS 行動中繼傳輸系統建置於客貨船「臺馬之星」上進行傳輸效能實際測驗，並於航行過程中持續監控 AIS 訊號轉發回陸地上 AIS 中繼接收端的情況，再利用電子海圖平台來檢視其傳輸距離，並將 AIS 中繼接收端之架設位置選址於交通部基隆港航管中心，以測試 AIS 行動中繼傳輸系統搭載於航行船舶上所能達到的中繼傳輸效果。測試結果則如圖 21、圖 22 所示。



圖 21 AIS 行動中繼傳輸測試結果

由圖 21 可發現，由中繼傳輸轉傳之臺馬之星最遠位置，與交通部基隆航管中心之距離約為 56 公里即 30.23 海浬，圖 22 則顯示臺馬之星航線中，AIS 行動中繼傳輸系統有效傳輸範圍接近於海峽中線，確實能彌補岸台基站接收效果，達到延伸我國海域內船舶位置資訊監測距離之目的。然而藉由 AIS 行動中繼傳輸系統所能達到的 AIS 資訊接收距離，包含船舶上 AIS 接收距離 25 海浬及中繼傳輸距離 30 海浬，預計能達到 55 海浬 (如圖 23 所示)。

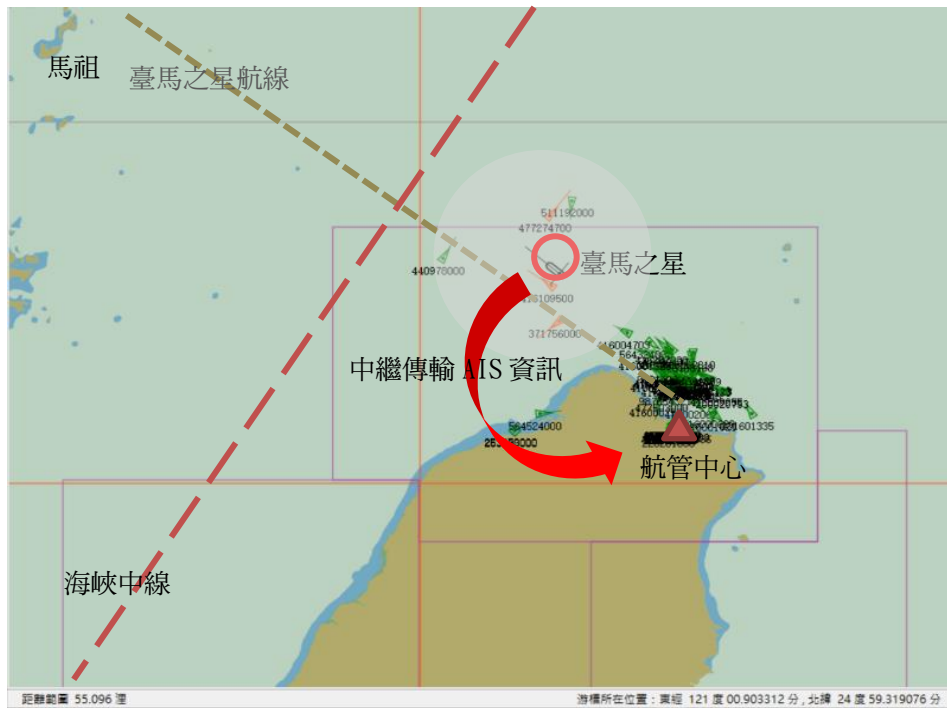


圖 22 AIS 行動中繼傳輸測試結果

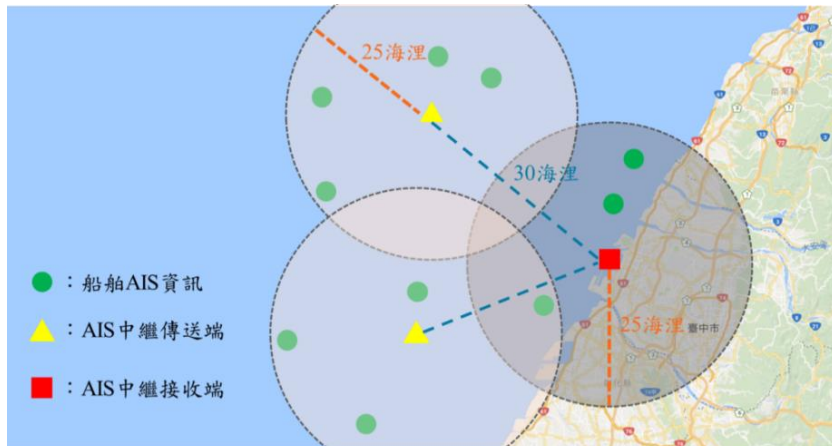


圖 23 AIS 行動中繼傳輸系統所能達到的 AIS 資訊接收距離

六、結論與建議

6.1 結 論

海洋事務管理體系之建立以維持船舶航行秩序，進而提升航運安全與航行效率，一直以來都被列為智慧海洋科技發展之指標方向，本研究以擴大船舶自動化識別系統(AIS)資訊覆蓋範圍為研究目的，探討船舶自動識別系統發展與應用現況，並針對擴展 AIS 資訊覆蓋範圍，提出 AIS 基站天線改善設計及中繼傳輸技術開發兩種方法，來達成延伸 AIS 系統資訊覆蓋範圍之目標。

藉由資料蒐集及研析掌握目前 AIS 涵蓋範圍，並評估港灣技術研究中心原有 AIS 接收端天線之效能，本研究透過理論推導以及模擬試驗並參考數據進行天線結構調整、修正，進而得出指向性、高增益的 AIS 接收端天線雛型架構。天線實體製作完成後，隨即安排幾處地點進行實測，並比對港灣技術研究中心舊有天線及本研究所設計天線之天線效能，透過 S 參數、阻抗匹配等數據，驗證本研究此款天線適用於 AIS 系統且符合規格要求。最後利用 AIS 訊號接收效能的實際量測，可發現本研究提出之 AIS 接收端天線明顯改善接收訊號強度，從電子海圖的測試中，亦驗證 AIS 訊號在有效傳輸範圍內達到最佳的接收效益。

於中繼傳輸技術的部分，本研究運用 Arduino 微控制器擷取 AIS 資訊並完成資料處理後，利用中繼傳輸設備進行 AIS 資料的自動轉發，可延伸 AIS 系統資訊覆蓋範圍約 30 海浬。

透過上述成果，本研究改善了 AIS 系統資訊收發距離受限而導致 AIS 系統資訊不完全的狀況，進而優化 AIS 系統資訊覆蓋範圍，達成掌握我國所轄海域內船舶資訊動態，有效監測與管理海上航行狀況，落實海上交通安全保障之目的，深化海洋科技能量，契合國家在海洋科技發展上之需求。

本研究之成果效益及後續應用配合事項歸納如下：

1. 本研究提出適用於岸台基站之高增益且具指向特性的接收端天線，能在有效距離內發揮天線最佳效益來提升 AIS 系統資訊接收效能。
2. 透過臺馬之星與基隆航管中心建置 AIS 行動中繼傳輸系統之實際試驗，佐證該系統能夠延伸 AIS 系統資訊覆蓋範圍大約 30 海浬，達成本研究之核心目標。
3. 藉由本研究向外延伸我國海域內船舶位置資訊的監測距離，能更加有效地監測及管理海上航行環境狀況，提升航安資訊管理水準。
4. 研究成果之後續應用配合工作，包含需要改善接收端天線之岸台基站，以及 AIS 行動中繼傳輸系統的架設船舶與場域等相關作業之研擬、規劃與管理權責商討。

6.2 建議

臺馬之星為往返馬祖與基隆的海運客貨船，其航行直線距離約為 214 公里，經換算約為 115 海浬，已大幅超出一般 AIS 通訊範圍的極限，目前臺馬之星所搭載的 AIS 系統，係利用衛星通訊傳輸方式克服傳輸距離的限制，然而臺馬之星總噸位約為 4,958 公噸，根據 IMO 相關條例必須裝載性能較標準規範嚴謹的 Class A 等級之 AIS 收發設備，又依 IMO 所規範之 Class A 船舶動態回傳週期，可知 AIS 資訊傳輸量甚大，故採用衛星傳輸將臺馬之星的 AIS 資訊封包回傳至岸台基站，所耗費的資料傳輸費用相當高昂，且台馬之星利用衛星傳送 AIS 訊號僅能傳送本身的船位相關資訊，並無法提供鄰近船舶的相關資訊。

本研究提出以中繼傳輸的方式將 AIS 資料回傳至岸台基站已確認可行，未來建議於臺馬之星上建置本研究之行動中繼站，一來可大幅縮減衛星資料傳輸所耗費之成本，二來透過 AIS 中繼傳輸技術，能將臺馬之星以及鄰近船舶之 AIS 資料皆回傳至岸台基站，將可延伸我國海域內船舶位置資訊的監測距離，建立更廣泛的 AIS 系統資訊覆蓋區域。

此外，近年來離岸風電產業備受關注，而 AIS 與離岸風電的結合應用具有相當發展潛力，例如利用 AIS 來判斷風場附近之船舶流量，進而有效監測管理船舶動態資訊提升航行安全。就本研究而言，離岸風機設置地點是否能作為 AIS 中繼站以提升 AIS 資訊覆蓋範圍，是值得後續進行討論的研究方向。

參考文獻

1. International Telecommunication Union, "Technical Characteristics for an Automatic Identification System Using Time Division Multiple Access in the VHF Maritime Mobile Frequency Band, M.1371", <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.1371/en>, 2017.
2. Navigation Center, "AIS Messages, U.S. Coast Guard Navigation Center", <https://www.navcen.uscg.gov>, 2017.
3. 交通部，船舶自動識別與報告系統整合規劃之研究，民國 92 年。
4. 邱永芳、張淑淨、張富東、蔣敏玲，智慧化海運系統建立之研究(3/4)，交通部運輸研究所，臺北，民國 101 年。
5. 黃茂信、邱永芳、陳子健、張立農，「臺灣海域船舶自動識別系統(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，國立臺灣大學，民國 105 年，頁 459-467。