

Integration of Passive Acoustic Monitoring System and Autonomous Surface Vehicle

You-Cheng Zhang ¹ Hsiang-Hsuan Jan ¹ Yen-Hsiang Huang ¹ Ching-Tang Hung ¹ Chi-Fang Chen ^{2*}

¹ Master, Department of Engineering Science and Ocean Engineering National Taiwan University,

² Professor, Department of Engineering Science and Ocean Engineering National Taiwan University

ABSTRACT

In the past, the measurement of underwater noise in the surrounding waters of Taiwan and the passive acoustic monitoring of marine mammals were conducted by the commissioning units in accordance with their business and financial resources. Lack of long-term and extensive investigations, the acoustic database and the complete system have not been established, which has caused the complexity of the use of related resources. Thus, we hope we can build a passive acoustic monitoring network in the near future, measure and analyze the ocean soundscape, and evaluate the information in the marine environment. It has the necessity and positive benefits for marine conservation, and the results will serve as the basis for the establishment of underwater noise and passive acoustic monitoring networks in the surrounding waters of Taiwan. This article provides a process for checking if there are dolphin in the specific area and using unmanned surface vehicle to track the source and find the area they are. This process has 4 main parts, including real-time dolphin whistle detection, real-time shore side monitoring system, underwater acoustic source localization and the behavior of the surface vehicle.

Keywords: Passive acoustic monitoring, unmanned surface vehicle, real-time whistle detector, MOOS-IvP

* Corresponding author, E mail: chifang@ntu.edu.tw

被動水下聲學監測與智慧型水面無人載具整合之研究

張祐誠¹ 冉祥萱¹ 黃彥翔¹ 洪靖唐¹ 陳琪芳^{2*}

¹ 國立臺灣大學工程科學及海洋工程研究所碩士

² 國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系教授

摘要

以往對於臺灣周邊海域之水下聲景量測分析及鯨豚被動式聲學監測，係各委託單位依其目的業務及財力進行相關資料監測分析，缺乏長期及大範圍之調查，且尚未建立完整制度及聲學資料庫，因此造成相關資源運用之複雜性。本文論述在未來建立被動式聲學監測網，量測分析海洋聲景，評估海洋環境中的資訊，透過聲紋辨識及聲學定位技術偵測鯨豚之動態，進而研判生物族群的棲地可能受到的影響，對海洋保育有其必要性與正面效益，目前研發成果可作為未來臺灣周邊海域水下噪音與被動式聲學監測網建立之基礎成果包括利用水面無人載具之被動水下聲學量測系統，透過即時水下音訊分析與即時頻譜回傳，來得知水下之聲學環境，並且透過海豚之哨叫聲(Whistle)來判定量測區域中是否有海豚之存在，若目標訊號明確，載具將自主性移動至特定區域做進一步之量測。全系統透過 C++ 實踐並且可應用於嵌入式系統。本文之系統可分為四大部分，分別為即時哨聲偵測、聲源方位計算、載具自主控制系統與即時監控系統。本文將說明各部分並透過臺灣基隆河大直橋下水域，驗證本文所開發之系統之可行性，並且分析本系統之誤差來源。本研究研發之被動水下聲學量測系統，為未來臺灣西海岸被動式聲學監測網主要元件之一。

關鍵詞：被動水下聲學量測、水面無人載具、即時哨聲偵測器、MOOS-IvP

* 通訊作者 E mail: chifang@ntu.edu.tw

一、前言

近年來由於科學、軍事和工程的需求，水下聲景越來越被重視，不同於環境噪音只是對於特定聲納信號而言，排除此聲納信號、自身噪音以及混響，聲景代表著各種聲源所形成的聲音在空間、時間與頻率上的特徵。水下聲景包括海浪、船舶和海洋生物等多種來源，而不同的水深、底質、聲速等也會影響該區域的聲景分佈，以臺灣為例，臺灣西部海域水深只有不到 100 米，但東部卻有 3000 多米，此現象即造成臺灣東西部聲景的差異。目前本團隊積極於臺灣西部海域布放水下聲學紀錄器(SM3M)，將錄到之音訊進行傅立葉轉換，以時頻分析搭配聽力識別了解該水域之水下聲景狀態，並利用統計方法量化環境雜訊，以瞭解其時間變化，並分析海洋哺乳動物、船舶、風向波產生的瞬態雜訊的特徵。

水下聲景之主要量測技術為被動聲學監測，而其中之應用包括鯨豚哨聲監測。國際間數十年在其中的研究有相當成果，臺灣也不落人後。林等(2014)及李等(2018)也發展相關技術。而其中中華白海豚最受矚目之族群。臺灣政府正積極發展離岸風電，但因中華白海豚(*Sousa chinensis*)棲息地與離岸風場興建範圍有所重疊，因此，在施工期間內，特定區域是否有中華白海豚的出現，為施工單位可否施工的依據之一。而如何得知某區域是否有白海豚之出現，可透過水下聲學量測偵測該海域是否有海豚哨叫聲(Whistle)或生物聲納(Click)的出現而得知。由於現階段臺灣的水下量測技術有分為底碇式、錨碇式與船載式三種，底碇式與錨碇式量測需要尋求配合船隻與潛水員或錨碇技術員協助布放量測儀器，但由於底碇式水下量測為使用水下錄音機進行量測，需等待儀器回收後才會得到所需檔案來做分析，若有即時水下量測的需求時絕非首選。而船載式量測能夠達到即時量測的目的，但是往往需耗費大量人力，考慮以上因素，被動水下監測系統為最佳選擇。被動監測平台可分為錨碇式與水面無人載具式兩種，錨碇式之被動水下量測系統之優點為省電，與無人載具式平台相比往往能持續量測更久的時間，而水面式無人載台之優點為機動性強，同時利用嵌入式系統能使其同時擁有運算能力與自主決定權來做水下量測，並可即時利用計算結果來規劃載具之路徑，藉此獲得更清楚且更明確的偵測結果。綜觀以上，建立一套可用於偵測哨聲並可應用於智慧型水面無人載具之被動水下聲學監測系統為本文之主要目的。

二、研究方法

2.1 被動水下聲學量測系統

本研究將智慧型被動水下聲學量測系統分為四大部分，分別為即時哨聲偵測、遠端監控、聲源方位計算與載具自動控制，並透過開源平台 MOOS-IvP 來實現本研究自行開發之即時量測系統，本章將依序介紹各部分所用到之演算法與原理。

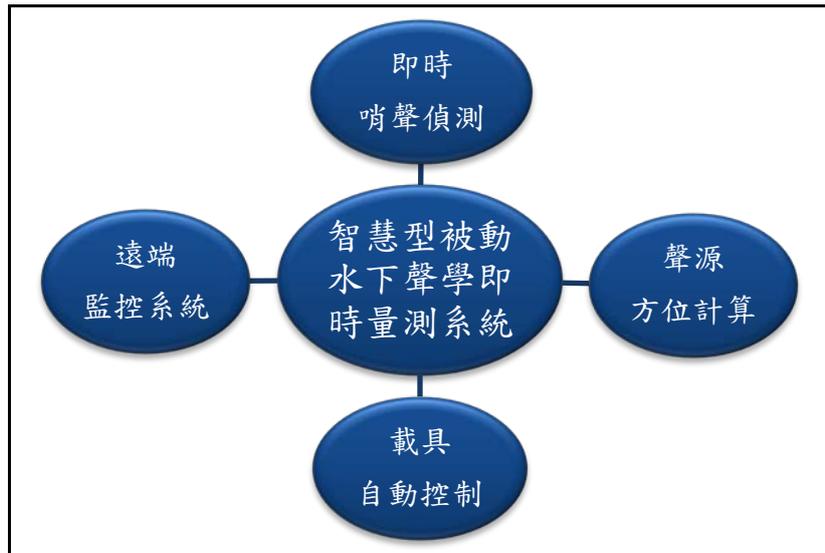


圖 1 圖智慧型被動水下聲學量測系統架構圖

2.1.1 即時哨聲偵測系統

為因應哨叫聲即時偵測之需求，需開發一套可實際使用之即時哨聲偵測器，透過李(2018)年提出之自動化哨聲偵測器理論，本研究基於李所提出之演算法自行研發一套建立在 C++ 平台上並可應用於嵌入式系統之即時鯨豚哨叫聲演算法。先透過錄音機接收聲學資料並且轉成電壓資訊傳入暫存區，當暫存區資料到達 1 秒的資料量後，先將該 1 秒資料擷取出來，並啟動即時哨聲偵測器，利用短時距傅立葉轉換將資料圖像化，透過簡單移動平均進行圖像平滑處理，再透過哨聲頻域上之特徵(窄頻且訊雜比 (Signal to Noise Ratio, SNR) 相對於環境噪音來的高)偵測出資料數值之改變處與濾除寬頻雜訊，最後再透過哨聲於時頻譜上之窄頻與高時間延續性特徵來進行更進一步之過濾，找出候選哨聲，並計算出該哨聲之長度與頻率範圍。

2.1.2 遠端監控系統

本研究透過 MOOS-IvP 的載具監控介面監控載具狀態，同時自行開發一監測介面做即時時頻譜與偵測結果之圖像化監測，載具監控介面整體如圖 2 所示，透過圖像化界面可以明確得知載具位置與狀態；透過音訊監測介面可以即時得知水下噪音時頻譜與偵測結果，讓使用者更清楚得知水下之聲景狀況。

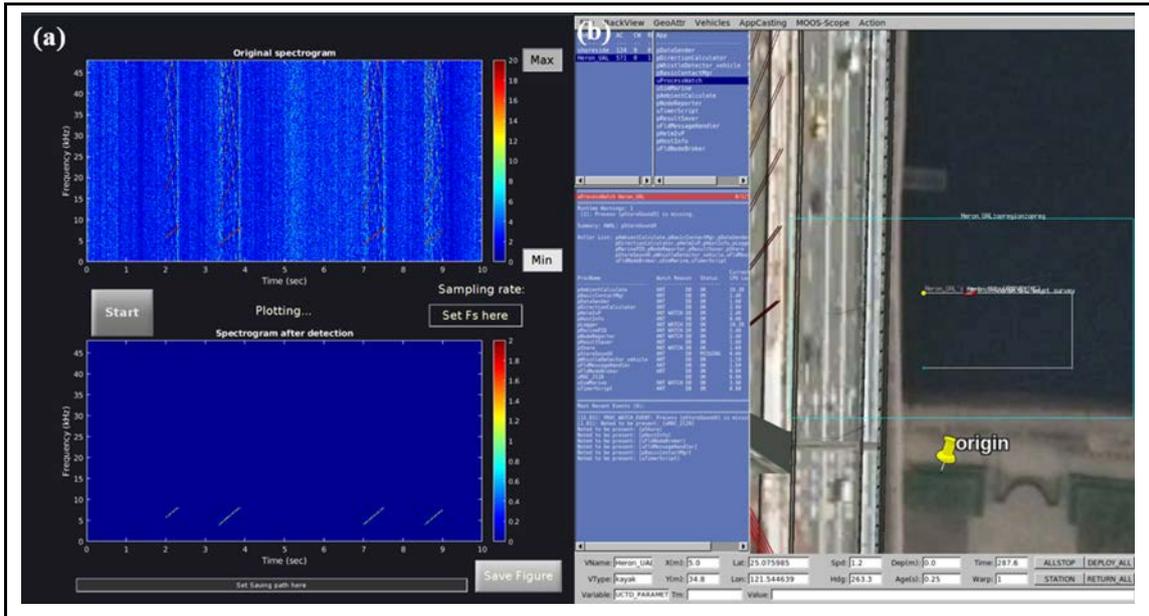


圖 2 (a)自行開發之聲學監測人機介面 (b)載具狀態監控介面

2.1.3 聲源方位計算

本研究使用訊號到達時間差(Time Difference of arrival, TDOA)的方式計算聲源方位，並且透過兩支麥克風實踐。本研究假設接收來源訊號皆為平面波，則聲源方位計算可由圖 3 麥克風與平面波之幾何關係得知，圖中 d 為麥克風間距、 c 為聲速、到達時間差為訊號時間差， Θ 為欲求之聲源方位角。其中計算的關鍵參數即為到達時間差，如何有效的計算到達時間差將影響方位精準度。本研究使用兩種計算到達時間差的方法，分別為交互相關函數法(Cross-correlation)與可變閾值之峰值擷取法。

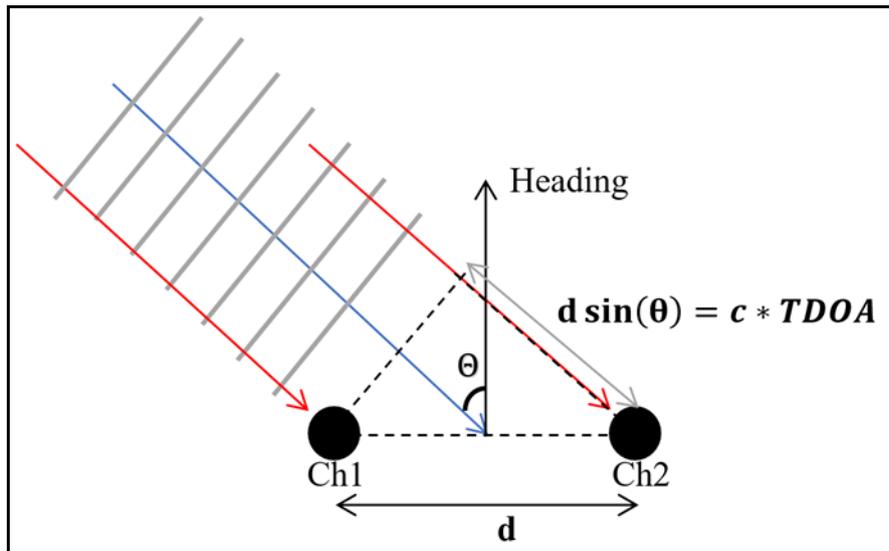


圖 3 聲源方位計算示意圖

2.1.4 載具自動控制

本研究透過行為模式設定(Behavior Based Robotics, BBR)的方式來控制載具，行為(Behavior)之定義為載具依照一固定規則進行運動，如單點移動(single way point)、原地停留(Station-Keep)、繞圈巡邏(Loiter)等等，圖 4 為行為模式控制架構圖，當量測參數達到觸發某些行為之條件時(Stimulus)，行為即被觸發，並且產生自己的載具目標函數(Objective Function)，當目標函數被建立後，此時協調者(Coordinator)將找出一最佳解後轉換成油門資訊輸出至執行者(Actuators)中。而本文所使用系統 MOOS-IvP 中，整個載具行為決策引擎則稱作 IvP-Helm。

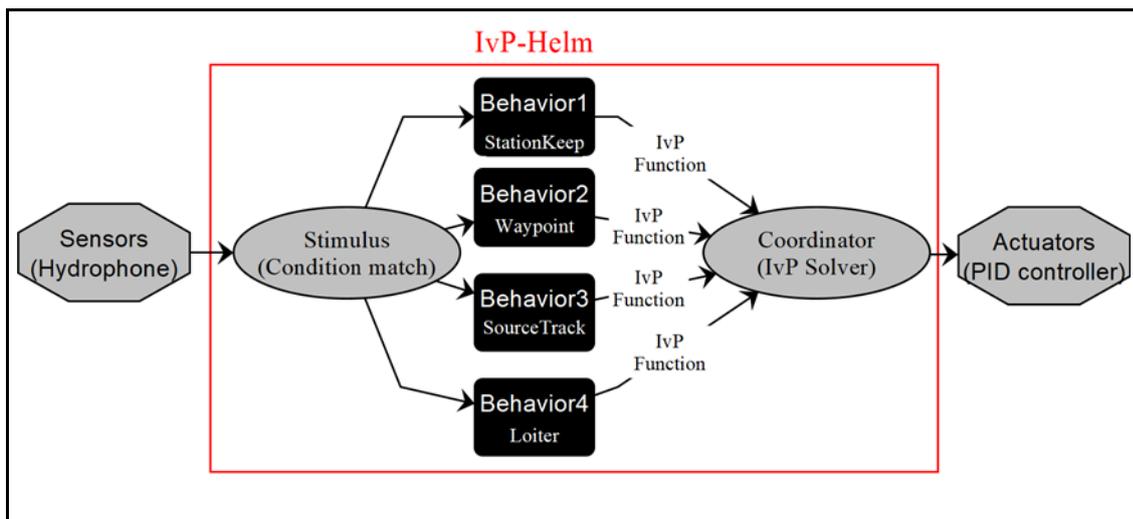


圖 4 行為模式決策架構

2.1.5 智慧型無人聲學載台量測系統驗證

本文利用台北市大直橋下基隆河水域進行一系列系統實測，場地如圖 5，靠近龍舟碼頭之水深約莫 1.5 公尺，河中央深度約為 3 公尺，寬度約為 130 公尺，流速約 1m/sec。將聲源固定於圖 5 之黃色星號部分，做為目標訊號產生點，並利用嵌入式系統樹梅派(Raspberry Pi)作為控制板，並將其天線外接使得聲源得以在岸邊進行控制，樹梅派輸出訊號後再透過車用擴大機做訊號放大以推動音鼓，由於掃頻訊號(Chirp)與哨聲在頻譜中有相同之特徵，故在實驗中播放 4~8 kHz，長度 0.3 秒與 1 秒之人工掃頻訊號。資料連接(Data Link)部分，則在岸邊架設一 2.4 GHz 之 Wi-Fi 基地台使本區域產生一不對外之無線區域網路。

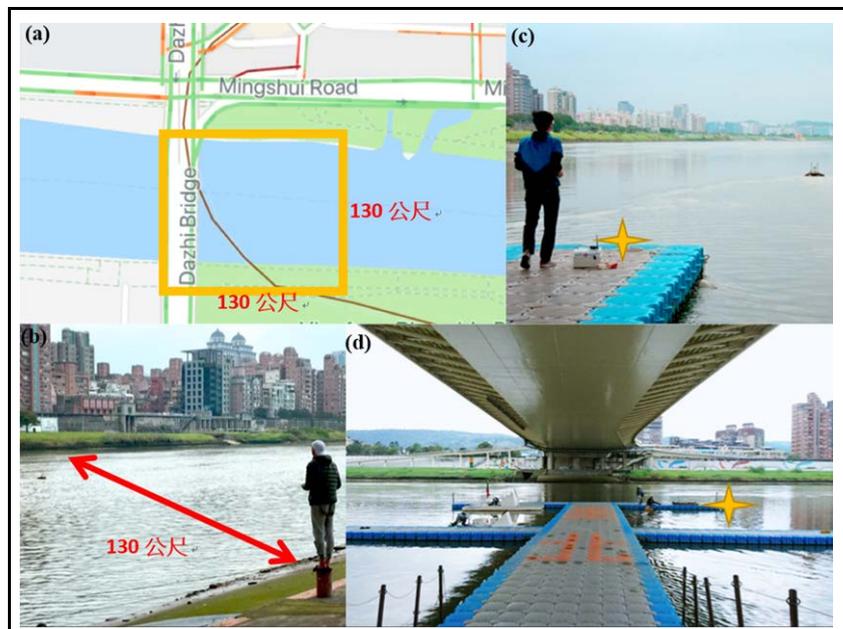


圖 5 (a)實驗場地(b)實驗場地照片(c)聲源位置(d)實驗碼頭照片

實際系統架構如圖 6，其中左下圖為自製防水後座系統，包含主控版、固態硬碟、雙聲道錄音介面與 12V 電源。自製一可折疊式麥克風架固定兩麥克風距離與深度，並在載具入水後由水平轉為垂直，載具於岸上時配置如圖 6(a)上，將鋁擠型所組成之雙聲道麥克風架保持水平以防止與地面之摩擦與降低入水後硬體設定之難度，入水後，麥克風架如圖 6(b)所示為垂直於載具向下，深度 0.6 公尺，寬度 0.4 公尺。整體配置完成圖如圖 6(d)。



圖 6 Heron 搭載量測系統 (a)正視圖(b)麥克風架(c)後座系統(d)系統整合圖

本研究以在河域模擬偵測海豚為任務需求，因此將任務設定在一特定區域，並偵測本區是否含有海豚哨聲，若哨聲不存在，採方形側線量測模式，若哨聲存在，則採聲源追蹤模式，任務持續執行直到岸邊監控者下達 Return 指令，則結束任務進入返航模式。

三、結果與討論

3.1 即時哨聲偵測器與監測介面驗證

本文利用掃頻訊號作為目標訊號做哨聲之偵測，主要需求為計算效率與準確度，若以慢速直線運動做量測，載具運轉噪音不會太大，且麥克風距離水面 60 cm。圖 7 為偵測結果圖，可以看出短訊號或長訊號只要在頻譜上與哨聲特徵相同皆會被偵測。而其中由此圖可看出缺點為倍頻問題嚴重，因此將目標訊號定在 4k ~ 8k Hz 以方便做 3k ~ 10k Hz(豚哨聲正常頻率範圍)之偵測。而偵測速度方面，取樣頻率為 96k Hz 之音訊訊號每 1 秒做 1 次做解算，平均 1 秒之資料須耗時約 0.08 秒。

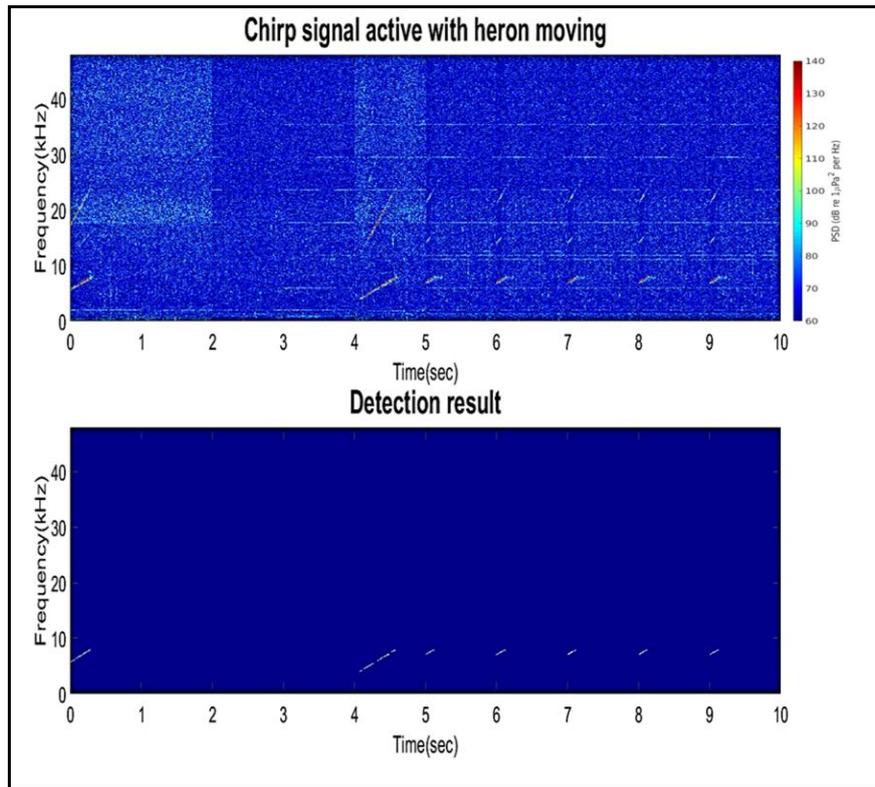


圖 7 水域測試偵測結果

3.2 監測介面驗證

監測介面部分，本文之監測系統由 MOOS-IvP 之岸邊監控程式 p Marine Viewer 與自行設計之即時頻譜監控系統 Spectrogram Viewer 所組成，介面如圖 8，而其中頻譜監測系統中之左上圖為即時水下頻譜，左下圖為即時偵測結果，右圖則為載具監控介面。其中監測介面運作正常，且能與載具做即時之溝通，而資料延遲(Latency)方面，由於頻譜資料與音訊資料大，資料傳輸率(Data Rate)有限，若載具距離基地台越遠則延遲越大，研判為資料量大且傳輸方式為 2.4G Hz 之 Wi-Fi，距離較遠但資料傳輸率較低，外加筆電之資料解析與繪圖時間，因此導致延遲問題嚴重，若要改善此問題可能須透過其他之資料連接方式做處理。

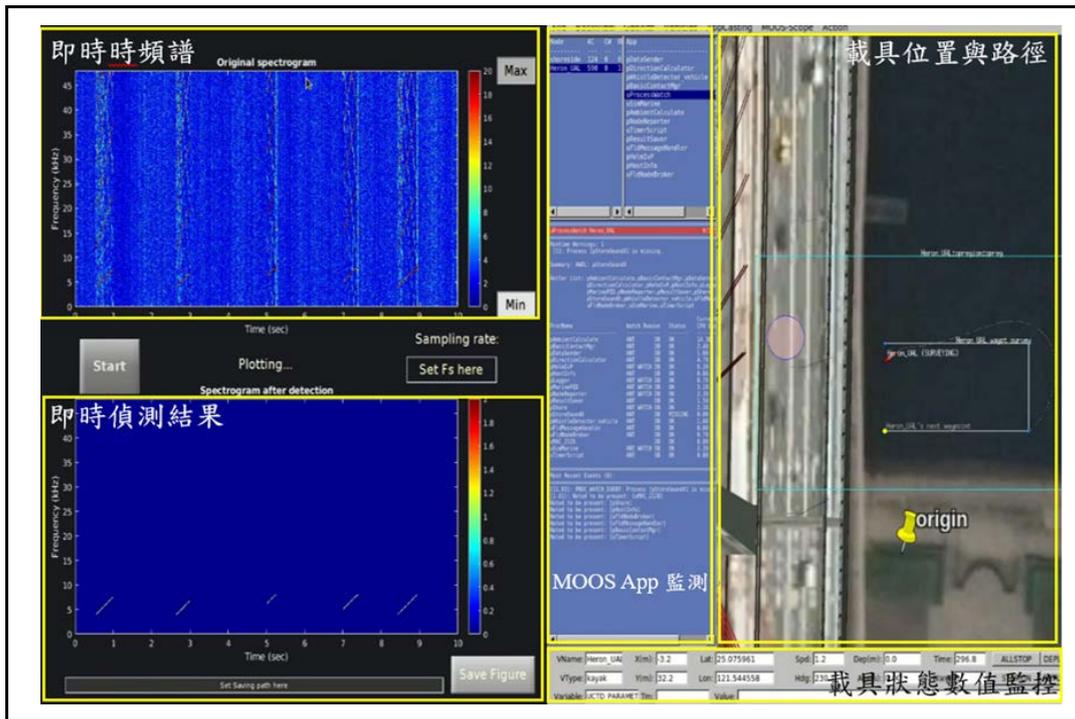


圖 8 岸邊監控介面實測螢幕截圖

3.3 聲源方位計算系統驗證

聲源方位計算方面，由於本實驗之目標訊號為哨聲訊號，因此方位之精準度除了演算法外，又多了一項誤差來源，即為哨聲偵測誤差。而由於載具自身單頻噪音，外加基隆河水域之混響問題，導致計算誤差量大，若扣除載具噪音之影響，判斷聲源位於左側或右側正確率高，但角度偏差量大，約為 20~30 度不等，但是多了載具自身噪音之影響造成錯誤率大增。

四、結論

本文所開發之智慧型被動水下聲學量測系統透過圖像化哨聲偵測理論成功利用 C++自行撰寫一套計算速度快之即時哨聲偵測器，將理論做一實踐與即時化，當哨聲成功被偵測後，基於雙聲道之聲源方位演算法，自行開發出一套可實際應用之聲源方位計算系統，可正確判斷聲源方位，且於臺灣海域測試成功，為了將本研究所開發之系統做一圖像化呈現，因此開發了一套遠端監測人機介面，並且可以實際做使用。綜觀以上，本文提供了一套可使用於水面無人載具且效能佳之被動水下聲學量測系統，有助於未來實海域之鯨豚偵測。

本研究所研發之智慧型被動水下聲學量測系統為未來臺灣西部被動式聲學監測網之重要技術之一。被動式聲學監測網主要由三種關鍵技術組成，分別為多點位底碇式水下噪音監測站、近岸被動聲納浮標與即時監聽中心以及海上無人載台，而其規劃場址北起大甲溪溪口南至台中港北堤。規劃於大甲溪溪口以及台中港北堤建立兩道攔截線，使我們能隨時掌握此監測網內之鯨豚數量，而當有鯨豚進入監測網內時，便能以海上無人移動載台對其進行動態追蹤以及更精確的定位，在將其結果透過近岸被動聲納浮標即時將結果回傳至岸邊之監聽中心，達到即時監測的效果。目前規劃被動式聲學監測網之概念如下圖所示。

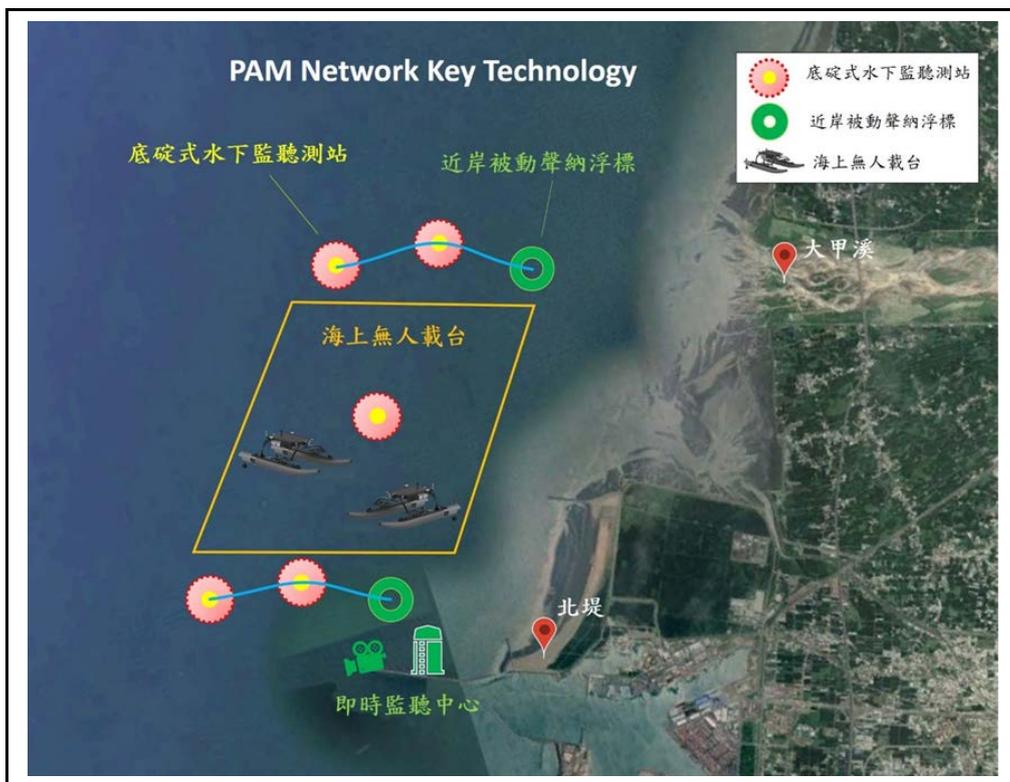


圖 9 被動式聲學監測網示意圖

建立起被動式聲學監測網後，未來將逐步建立長期水下噪音監測網，以利分析研判海洋環境及生物族群在時空上的變動趨勢。建置完整後可迅速蒐集大量的水下聲景資料，以建立資料庫供相關單位進行評估及分析驗證，亦可方便掌握棲息於此區域的海洋生物的動向，有利於海洋保育，並期望能夠建立長期水下噪音量測之完整制度，培養國內相關之研究能量。

參考文獻

- [1] Benjamin M. R., Leonard J. J., Schmidt H., and Newman P. M. (2009), An overview of moos-IvP and a brief users guide to the IvP helm autonomy software.
- [2] Huang, Y. H. (2019), Study of The Passive Acoustic Monitoring System on Autonomous Surface Vehicle. Department of Engineering Science and Ocean Engineering National Taiwan University, pp. 1-97.
- [3] Lin, T. H. (2014), The Application of Passive Acoustic Monitoring for Studying Indo-Pacific Humpback Dolphin Behavior and Habitat Use of Western Taiwan.
- [4] Li, W. L. (2018), Study of Dolphin Whistle Detection. Department of Engineering Science and Ocean Engineering National Taiwan University, pp. 1-74.
- [5] Mahmud S., Sidorovskaia N., Li K., Pierpoint C., Tiemann C., and Mellinger D. (2017), Comparing performance of bottom-moored, glider, and unmanned surface vehicle towed PAM platforms for marine mammal detection.
- [6] Tranter J. (2004), Introduction to sound programming with ALSA. Linux Journal, vol. no. 126, pp. 4.