

101-47-7619

MOTC-IOT-100-H2DB006c

# 以水下自動化載具進行多音束 測深之研究(3/4)



交通部運輸研究所

中華民國 101 年 4 月

101-47-7619

MOTC-IOT-100-H2DB006c

# 以水下自動化載具進行多音束 測深之研究(3/4)

著者：邱永芳、薛憲文、張富東、蔣敏玲

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 4 月

101

以水下自動化載具進行多音束測深之研究  
(3/4)

交通部運輸研究所

GPN: 1010100432

定價 100 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

以水下自動化載具進行多音束測深之研究(3/4)  
/邱永芳等著.--初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，  
民 101.04  
面 ； 公分  
ISBN 978-986-03-1983-5 (平裝)

1. 海洋探測 2. 水中聲學

351.924

101004171

以水下自動化載具進行多音束測深之研究(3/4)

著 者：邱永芳、薛憲文、張富東、蔣敏玲著  
出版機關：交通部運輸研究所  
地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號  
網 址：[www.ihmt.gov.tw](http://www.ihmt.gov.tw) (中文版>中心出版品)  
電 話：(04)26587176  
出版年月：中華民國 101 年 4 月  
印 刷 者：  
版(刷)次冊數：初版一刷 80 冊  
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站  
定 價：100 元  
展 售 處：  
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880  
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207  
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010100432

ISBN：978-986-03-1983-5 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：以水下自動化載具進行多音束測深之研究(3/4)			
國際標準書號 (或叢刊號) ISBN 978-986-03-1983-5(平裝)	政府出版品統一編號 1010100432	運輸研究所出版品編號 101-47-7619	計畫編號 100-H2DB006c
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：邱永芳 研究人員：張富東、蔣敏玲 聯絡電話：04-26587120 傳真號碼：04-26571329	合作研究單位：國立中山大學 計畫主持人：薛憲文 研究人員：王兆璋、陳信宏、陳陽益、李忠潘、吳泓毅、王韋樺、王聖瀚、邱楫文、張信齊 地址：80424 高雄市鼓山區蓮海路 70 號 聯絡電話：07-5255067		研究期間 自 100 年 2 月 至 100 年 11 月
關鍵詞：多音束測深、水下定位、水下載具			
摘要：  <p>本案研究主題為 GPS 定位模式與水下定位相關課題，其內容包含：水下多音束測深系統各感測器資料同步收集，水下多音束測深資料處理技術之探討，及多音束測深的多重解析度資料之整合技術研究等。本年度結論有四點：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 時間基準以 GPS 之 ZDA 格式搭配 1PPS 訊號，可有效提高時間的精度，使得各種感測器之資料同步。</li> <li>2. 本次實驗之結果，載台在離海床 5 公尺左右，船速在 0.5 節時的解析度可明顯辨識高於海床 15cm 的物體。</li> <li>3. 由於載台本身無動力所造成的影響，除了產生測深速度不一，水下定位之線性內插會造成局部水平位置誤差外，無往返重疊測線也導致進行載台的疊合修正不易，因此若欲整合水面及水下多音束測深多重解析度資料，尚須克服特徵物由水面及水下多音束測深所產生位置差異之轉換問題。</li> <li>4. 本年度整合長基線與都卜勒流速計進行水下載台定位定位，定位誤差控制在 3 公尺左右。</li> </ol> <p>本研究成果之效益及後續應用主要包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 完成超短基線水下定位的定位精度探討。</li> <li>2. 完成水下多音束測深系統的定位精度探討。</li> <li>3. 完成水下定位系統之介面開發之研究。</li> </ol>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
101 年 4 月	142	100	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 (解密條件： <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密) <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS  
INSTITUTE OF TRANSPORTATION  
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

<b>TITLE:</b> Research of Multibeam Echo Sounding on an Automatic Underwater Vehicle (3/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-03-1983-5 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010100432	IOT SERIAL NUMBER 101-47-7619	PROJECT NUMBER 100-H2DB006c
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-fang PROJECT STAFF: Chang Fu-tong, Chiang Min-ling PHONE: 04-26587115 FAX: 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM February 2011 TO November 2011
RESEARCH AGENCY: National Sun Yat-sen University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Shianhn-Wern Shyue PROJECT STAFF: Chau-Chang Wang, Hsin-Hung Chen, Yang-Yih Chen, Chung-Pan Lee, Hung-Yi Wu, Wei-Hua Wang, Sheng-Han Wang, Ji-Wen Chou, Shen-Chai Chang ADDRESS: No. 70, Lienhai Rd., Kaohsiung 80424, Taiwan, R.O.C. PHONE: 07-5255067			
<b>KEY WORDS:</b> MULTIBEAM ECHO SOUNDING, UNDERWATER POSITIONING SYSTEM, UNDERWATER VEHICLE			
<b>ABSTRACT:</b> <p>The theme of the third year of this four-year project is regarding the mode of GPS positioning and underwater positioning. This research includes: collecting various sensors data using towed platform for multibeam echo sounding system (MBES), developing data processing technology for towed MBES, exploring the multiresolution technology for MBES. There are four conclusions from the findings of this year:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Use the ZDA formats with 1PPS signal as time reference can effectively improve the accuracy of timing and synchronize for all of the sensors.</li> <li>2. The results of this research show when underwater platform without power locates above 5 meters from the sea bed and platform speed is around 0.5 knots, tires with 15cm in depth above seabed can be easily identified.</li> <li>3. Platform without power may cause irregular survey speed because of the inconstant current speed. Therefore, linear interpolation from underwater positioning system may cause positioning error due to inconstant moving speed. Patch test can not be done without overlapping of the survey lines. In order to integrate the MBES results from surface vessel and underwater platform together, coordinate transformation between above two MBES results may be considered.</li> <li>4. In this year, the positioning of the underwater platform is based on the integration of LBL system and Doppler velocity log, which has the positioning accuracy of about 3 m.</li> </ol> <p>This research benefit and application include:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. To achieve the accuracy of ultra short baseline positioning research.</li> <li>2. To finish the positioning accuracy of the multibeam mounted on an underwater vehicle</li> <li>3. To complete the interface of underwater positioning system .</li> </ol>			
DATE OF PUBLICATION April 2012	NUMBER OF PAGES 142	PRICE 100	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目錄.....	III
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VII
第一章 前言.....	1-1
1.1 計畫摘要.....	1-1
1.2 計畫背景分析.....	1-2
1.3 研究範圍與對象.....	1-3
1.4 研究內容與工作項目.....	1-4
1.4.1 研究內容.....	1-4
1.4.2 工作項目.....	1-4
1.5 預期成果.....	1-5
1.5.1 本年度(第三年)預期成果.....	1-5
1.5.2 計畫效益及其應用.....	1-5
第二章 研究方法及進行步驟.....	2-1
2.1 水下多音束測深系統各感測器資料同步收集之探討.....	2-1
2.1.1 長基線水下定位系統整合研究.....	2-1
2.1.2 水下多音束系統整合研究.....	2-9
2.2 水下多音束測深資料處理技術之探討.....	2-11
2.3 多音束測深的多重解析度資料之整合技術研究.....	2-12
2.4 使用儀器之廠牌、型式、序號及照片.....	2-12

第三章	專案時程及工作進度說明.....	3-1
3.1	專案時程 .....	3-1
3.2	工作進度說明 .....	3-2
第四章	各感測器時間同步之探討.....	4-1
4.1	衛星時間與 UTC 時間 .....	4-1
4.2	資料時間同步的探討 .....	4-4
4.2.1	多音束測深系統之時間同步 .....	4-5
4.2.2	水下定位系統之時間同步 .....	4-6
4.3	時間差異所造成的影響 .....	4-7
4.3.1	GPS 定位時間差之影響 .....	4-8
4.3.2	船隻姿態接收儀時間差之影響 .....	4-10
4.4	GPS 之 1PPS 的應用 .....	4-12
第五章	水下載台的設計.....	5-1
5.1	水下載台設計考量因子 .....	5-1
5.1.1	水下載台平衡性.....	5-2
5.1.2	儀器安裝可行性.....	5-2
5.1.3	水下載台施放便利性.....	5-3
5.2	水下載台規格 .....	5-4
第六章	實驗成果與討論.....	6-1
6.1	實驗規劃 .....	6-1
6.2	實驗流程 .....	6-4
6.3	實驗結果 .....	6-8
6.4	多重解析度 .....	6-17
第七章	結論與未來研究方向.....	7-1

7.1 結論 .....	7-1
7.2 未來研究方向 .....	7-1
參考文獻 .....	R1
附錄一 期中報告審查意見處理表 .....	附 1-1
附錄二 期末報告審查意見處理表 .....	附 2-1
附錄三 期中簡報資料 .....	附 3-1
附錄四 期末簡報資料 .....	附 4-1
附錄五 歷年研究成果 .....	附 5-1
附錄六 歷年審查意見回覆 .....	附 6-1

## 表 目 錄

表 2.1	多音束測深系統儀器規格表.....	2-13
表 3.1	進度甘特圖(Gantt Chart).....	3-1
表 3.2	工作進度說明.....	3-2
表 3.3	繳交成果及繳驗時程表.....	3-2
表 5.1	各儀器乾濕重.....	5-2
表 5.2	使用儀器規格.....	5-3
表 6.1	量測深度與解析度比較表.....	6-1
表 6.2	輪胎尺寸表.....	6-1
表 6.3	測量成果比較表.....	6-16
表 6.4	定位誤差表(單位為秒).....	6-17

## 圖目錄

圖 1.1	足印與水深關係示意圖.....	1-2
圖 1.2	四年工作計畫流程圖.....	1-3
圖 2.1	應用最佳化方法估算應答器位置之流程.....	2-3
圖 2.2	DVL 一般構型與座標系統.....	2-6
圖 2.3	卡曼濾波演算設計.....	2-9
圖 2.4	聲速與溫度關係圖.....	2-11
圖 4.1	資料進入電腦時間記錄流程(當地時間).....	4-2
圖 4.2	資料進入電腦時間記錄流程(UTC 時間).....	4-2
圖 4.3	閏秒調整之年份.....	4-4
圖 4.4	感測器之原始資料.....	4-5
圖 4.5	水下定位系統通訊流程圖.....	4-7
圖 4.6	定位系統時間誤差示意圖.....	4-8
圖 4.7	船型凹洞地形.....	4-9
圖 4.8	船型凹洞地形(定位時間延遲一秒).....	4-9
圖 4.9	船隻運動時所產生之三軸及 Beam angle 誤差造成之影響.....	4-10
圖 4.10	船型凹洞地形(船隻姿態接收儀時間延遲三秒).....	4-11
圖 4.11	時間延遲示意圖.....	4-12
圖 4.12	1PPS 輸入流程圖.....	4-13
圖 4.13	時間訊號誤差.....	4-13
圖 5.1	載台施放示意圖.....	5-1
圖 5.2	作業船隻規格.....	5-3
圖 5.3	水下載台的側視及等角圖.....	5-4

圖 5.4	水下載台完工側視圖 .....	5-5
圖 5.5	水下載台儀器安裝孔 .....	5-5
圖 5.6	水下載台儀器安裝完成 .....	5-6
圖 6.1	輪胎佈放方式 .....	6-2
圖 6.2	實驗佈放示意圖 .....	6-2
圖 6.3	台灣西部等潮位線 .....	6-3
圖 6.4	實驗區域 .....	6-4
圖 6.5	實驗流程圖 .....	6-4
圖 6.6	長基線應答器之定位水泥塊 .....	6-5
圖 6.7	佈放應答器 .....	6-5
圖 6.8	佈放輪胎 .....	6-6
圖 6.9	水中輪胎影像 .....	6-6
圖 6.10	施放水下載台 .....	6-7
圖 6.11	載台水下影像 .....	6-7
圖 6.12	多音束即時影像 .....	6-8
圖 6.13	水下載台之 LBL 與 DVL 之定位軌跡 .....	6-9
圖 6.14	利用卡曼濾波整合 LBL 與 DVL 之水下載台定位結果 .....	6-10
圖 6.15a	多音束聲納定位與漁船 GPS 之定位軌跡比較(a) .....	6-10
圖 6.15b	多音束聲納定位與漁船 GPS 之定位軌跡比較(b) .....	6-11
圖 6.15c	多音束聲納定位與漁船 GPS 之定位軌跡比較(c) .....	6-11
圖 6.16	資料整合流程圖 .....	6-12
圖 6.17	傳統多音束測量結果 .....	6-13
圖 6.18	水下載台所獲之水深 3D 點雲影像 .....	6-13
圖 6.19	傳統多音束影像 .....	6-17

圖 6.20 全區域測量成果.....	6-18
圖 6.21 小範圍測量成果.....	6-18

# 第一章 前言

## 1.1 計畫摘要

傳統多音束測深技術大多是以船隻為載具，然而多音束測深系統之橫搖(roll)、縱移(pitch)、起伏(heave)、平擺(yaw)等船隻姿態，極易受到海面波浪、沿岸海流及潮汐之影響，而導致測深品質不一，需要花費較多的時間來進行資料篩選及品管。另外多音束測深之足印(footprint)大小與水深成正比，若採用目前解析度最高的多音束測深儀，例如:Reson Seabat 8125，此測深儀每次可以收發 240 筆水深，測深之張角(swath angle)為 120 度，每個音束之束寬(beam width)為 0.5 度，若在水深 100m 之水域進行多音束測深時，其足印大小介於 0.87m-3.55m，亦即每一筆水深可能涵蓋的海床範圍約介於 1-4m，且約間隔 1.44m 才會有一筆水深資料，這些先天的限制條件並不利於水下管線狀態之探測、微地形(micro-topography)或水下特徵物之搜尋等工作之進行。

本案為四年計畫之第三年，由第一及第二年的研究結果顯示，使用超短基線定位系統與水下載具來輔助多音束測深作業，只要定位感測器與姿態感測器之間的對準偏差可以精確校正，便可提升水下目標物的定位精度。若要得到更高品質、更高精度的測深資料，必須以長基線定位系統為佳。長基線定位系統之水下載具導航介面，整合了水下載具感測器（航向、深度）與外部感測器（GPS、船隻姿態收集儀），可即時提供水下載具的方向與位置。此一導航介面具備 3D 虛擬介面與 2D 圖形顯示介面，有助於操作員確實掌握水下載具的動態。

由於水下自動化載具的研發計畫被終止，目前並無適用之載具可供本研究使用，因此，本年度的研究主題重點在以無動力水下載台上的多音束測深系統與長基線水下定位系統之整合與測試，並進行多音束測深之多重解析度資料分析，並期待此經驗可供以後的水下載具使

用。

長基線水下定位系統必需面對水下載具的航行安全問題，而水下載具的定位與導航密不可分，特別是水下定位完全依賴聲納，與駕駛水面或陸上載具採用的視覺操作方法不同。因此，於進行長基線水下定位系統與水下載台上的多音束測深系統整合是本研究一項重要課題。

## 1.2 計畫背景分析

多音束測深系統的資料解析度經常是以角度表示，與測量慣用的長度觀念差異甚大，角度與長度的最大差異是足印(Footprint)與測量斜距(測量儀器至目標的距離)成正比，簡而言之，多音束測深系統的足印大小與水深成正比，可參照下圖 1.1。而多音束測深系統發展至今，0.5 度的音束束寬是目前最高解析度機種，若要更進一步提升解析度及縮小足印的方法，唯有縮短音鼓至目標的距離，也就是將多音束音鼓安裝至水下載具。

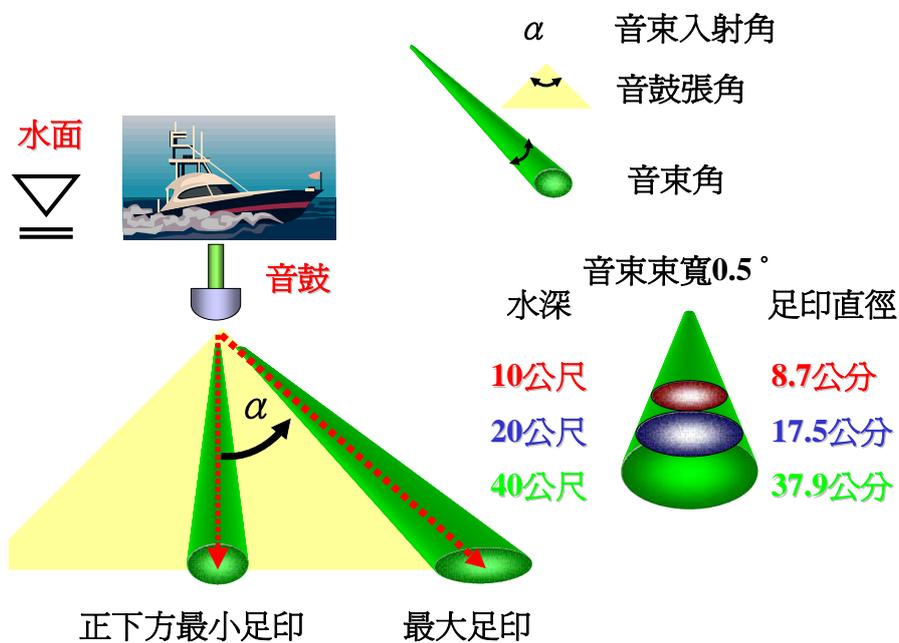


圖 1.1 足印與水深關係示意圖

為有效的解決測深解析度之問題，將多音束測深系統安裝在水下載具是一種極為有效之方案，但國內尚無此種解決方式之案例。然而目前國內對於水下載具之開發已經漸有成績，在客觀環境上已經允許進行此項研究課題，加上澎湖、東沙及南沙等島嶼之珊瑚礁及環礁附近之地形測量，與港灣水下結構物之測繪等方面之應用已有迫切的需求，因此本研究是朝向此相關之課題進行研究。

### 1.3 研究範圍與對象

本計畫為有效的解決測深解析度之問題，將多音束測深系統安裝在水下載具是一種極為有效之方式，因此本研究四年之主題包括下列相關之研究課題，可參照下圖 1.2。

以水下自動化載具進行多音束測深系統之研究

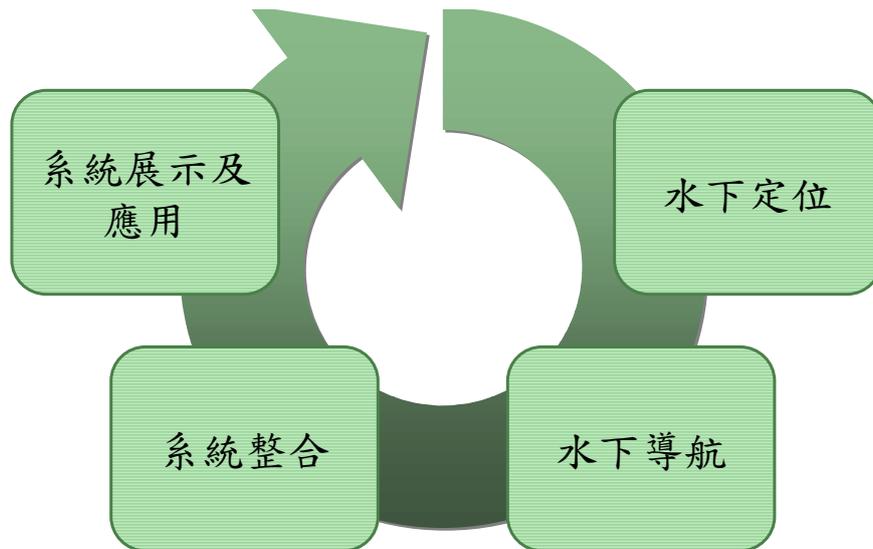


圖 1.2 四年工作計畫流程圖

第一年：探討超短基線之水下定位系統的精度，探討多音束測深系統測量水下定位系統底碇架三維坐標之精度，開發超短基線水下定位系統介面之研究。

第二年：探討長基線之水下定位系統的精度，開發長基線水下定位系統之導航介面，探討衛星即時動態差分(RTK)與後期處理

(Post-Processing)模式應用在多音束測深系統之精度。

第三年：以多音束測深資料之整合技術研發為主軸，探討水下多音束測深系統各感測器資料之同步收集、水下多音束測深之資料處理技術，及船隻與水下載具之多音束測深的多重解析度資料之整合技術之研發。

第四年：以多重解析度資料 2D 及 3D 之展示技術之研發為主軸，探討多音束測深資料與側掃聲納資料之整合等相關的技術研究，及船隻與水下載具之多音束測深成果整合的應用。

## **1.4 研究內容與工作項目**

### **1.4.1 研究內容**

本年度之研究著重在探討長基線水下定位及水下載台上的多音束測深系統的整合作業方法及模式。在水下定位範疇內，去年度以符合水下多音束測深精度需求，且定位精度較高的長基線水下定位為研究主題內容，探討長基線系統的佈放及率定作業方法，以及其定位精度，並配合其應用層面進行導航介面開發。本年度除進行長基線水下定位及水下載台上的多音束測深系統的整合作業方法及模式外，並進行水下之多音束測深及長基線定位資料整合處理技術探討，與水面定位之多音束測深資料之多重解析度資料整合與比對分析，以瞭解水下載具多音束測深系統之解析度成果是否提升。

### **1.4.2 工作項目**

本年度之工作項目包括以下三項：

- 1.水下多音束測深系統各感測器資料同步收集之探討。
- 2.水下多音束測深資料處理技術之探討。
- 3.多音束測深的多重解析度資料之整合技術研究。

## **1.5 預期成果**

### **1.5.1 本年度(第三年)預期成果**

- 1.完成水下多音束測深系統各感測器資料同步收集。
- 2.完成水下多音束測深資料處理技術。
- 3.完成多音束測深的多重解析度資料之整合技術研究。

### **1.5.2 計畫效益及其應用**

- 1.可以應用在提升水深測量多重解析度資料 2D 及 3D 之展示技術。
- 2.可以應用在多音束測深與側掃聲納之間不同資料的整合。
- 3.可以應用在改善測量船隻與多音束測深儀結合的技術。

## 第二章 研究方法及進行步驟

### 2.1 水下多音束測深系統各感測器資料同步收集之探討

#### 2.1.1 長基線水下定位系統整合研究

本研究為四年計畫之第三年度計畫，第一年計畫進行超短基線水下定位系統的精度探討，研究結果顯示超短基線定位誤差的主要來源之一是感測器對準偏差，只要定位感測器與姿態感測器能之間的對準偏差可以精確校正，便可提升水下目標物的定位精度。不過其定位精度仍受限於基線太短，因此第二年度計畫進行長基線水下定位系統的精度探討。由於長基線應答器錨碇在海床上，因此長基線定位誤差並不受作業水深影響。但長基線定位精度會受收發器詢答時間間隔與載具速度影響，無法連續收到應答器的詢答回訊也是定位誤差的另一個主要來源。根據第二年計畫研究結果發現，長基線定位系統融合收發器的移動速度資訊可以大幅改善定位誤差，將水下定位誤差控制在1~1.5m左右。因此，對於水下載台之定位，本年度計畫擬整合長基線定位系統、都卜勒流速計(Doppler Velocity Log; DVL)、以及深度計等量測資料，透過卡曼濾波(Kalman filter)演算來提升水下定位精度。

水下載台之定位研究方法包括應答器定位估算、長基線定位估算、DVL 定位、以及卡曼濾波演算，分述如下：

##### (1)應答器定位估算

進行長基線定位之前，必須佈放數個應答器於海床，並校正每個應答器的位置。應答器位置的校正方式，可利用水面工作船裝載收發器，於應答器上方附近水面詢答應答器，以取得斜距與收發器 GPS 座標，再藉由數個斜距資料以及收發器 GPS 資料來推估應答器的位置。理想上，只要利用三個不在同一直線上的觀測點來量測斜距以及 GPS，就可以反算出應答器的位置。然而，斜距和

GPS 資料隱含量測誤差，僅由三筆資料並不利於精準估算應答器位置。所以取得越多筆斜距以及 GPS 資料，就越能準確推算出應答器位置。本研究採用數值最佳化方法來估算應答器位置，以求得全域最佳解 (Global minimum)，其估算流程如圖 2.1 所示。利用數值最佳化方法來估算應答器位置，必須要建立目標函數 (Objective function)，而目標函數與水層聲速剖面有關，因此在實驗過程中必須進行 CTD 量測。

在 ENU (East-North-Up) 參考座標下，令待求解的應答器位置向量為：

$$\mathbf{P}_T = [x, y, z]^T \quad (1)$$

此外，水面工作船 (收發器) 在第  $i$  個觀測點的已知 GPS 位置令為  $\mathbf{P}_i$ ，在該觀測點詢答應答器所量測到的聲訊單程飛行時間 (One-way travel time) 為  $t_{mi}$ 。由於水層聲速  $c(z)$  隨著水深變化，利用聲線法 (Ray tracing method) 便可以求得聲訊在  $\mathbf{P}_T$  與  $\mathbf{P}_i$  之間的理論飛行時間 (Time Of Flight; TOF)  $t_i$ ：

$$t_i = f(\mathbf{P}_T, \mathbf{P}_i, c) = f(x, y, z, c) \quad (2)$$

因為收發器位置  $\mathbf{P}_i$  為已知，所以  $t_i$  便為  $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、以及  $c$  的函數。如果應答器的位置估算準確時， $t_i$  應該等於量測值  $t_{mi}$ ；一旦應答器的位置估算不準確， $t_i$  與  $t_{mi}$  之間便有誤差存在：

$$\varepsilon_i = t_{mi} - t_i \quad (3)$$

根據殘差值平方和 (Sum of Squared Error; SSE) 的概念，最佳化方法的目標函數可以訂定如下：

$$\text{Minimize } f(x, y, z) = \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i)^2 = \sum_{i=1}^n (t_{mi} - t_i)^2 \quad (4)$$

其中， $n$  代表量測資料點的總數。根據式 (4) 訂定的目標函數，便可

利用最佳化方法求解應答器的位置，其位置估算流程如圖2-1所示。

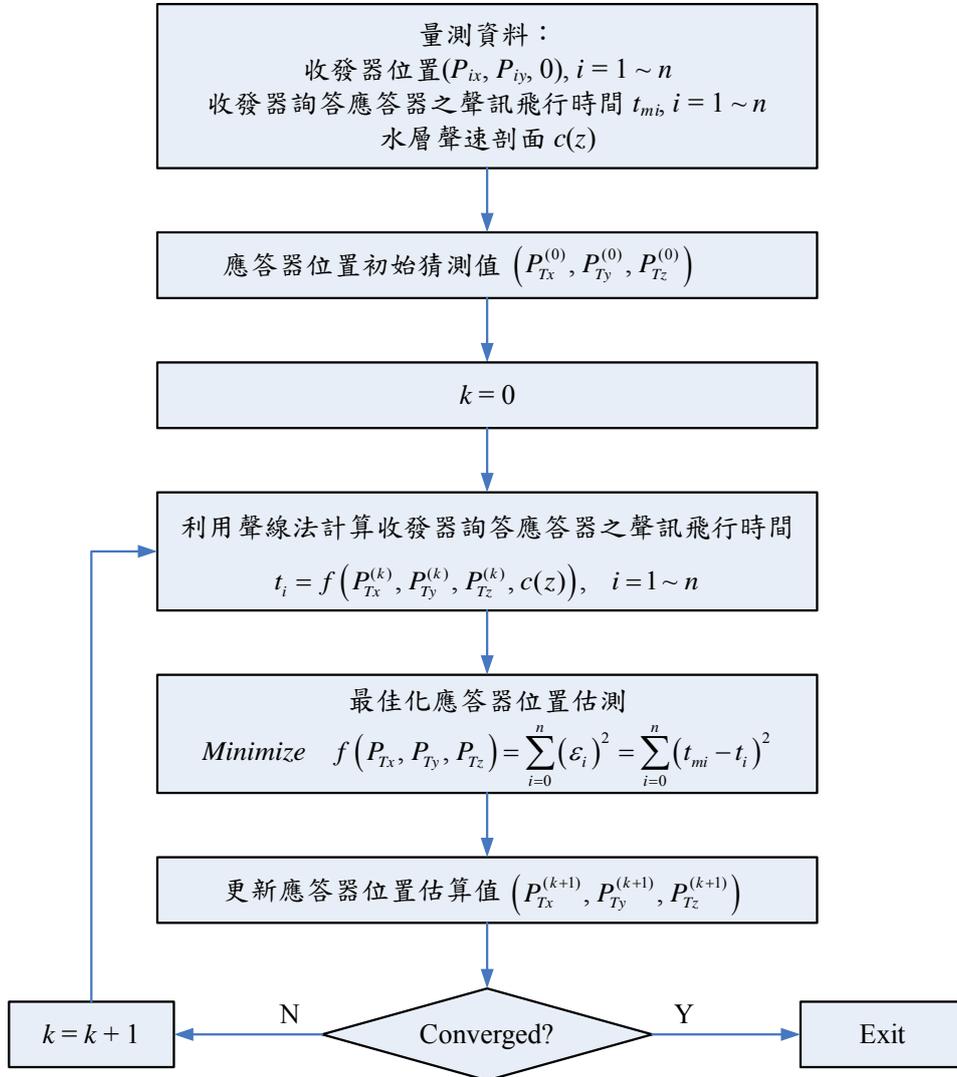


圖 2.1 應用最佳化方法估算應答器位置之流程

## (2)長基線定位估算

假設海床上佈放了  $n$  個應答器，其位置分別為  $T_i(x_i, y_i, z_i)$ ，收發器的位置則令為  $P(x, y, z)$ 。收發器詢答  $n$  個應答器所量測的斜距分別為  $r_i$ ，這些斜距在水平面上的分量  $r_{ih}$  可以分別由以下公式計算求得：

$$r_{ih} = \sqrt{r_i^2 - (z - z_i)^2}, \quad i = 1 \sim n \quad (5)$$

根據斜距在水平面分量的已知條件，可以建立以下幾何關係式：

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = (r_{ih})^2, \quad i = 1 \sim n \quad (6)$$

為了求解  $x$  與  $y$ ，將式(6)中的  $x^2$  與  $y^2$  項消去，可以得到以下關係式：

$$\begin{cases} 2(x_1 - x_2)x + 2(y_1 - y_2)y = [(r_{2h})^2 - (r_{1h})^2] + (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) \\ 2(x_2 - x_3)x + 2(y_2 - y_3)y = [(r_{3h})^2 - (r_{2h})^2] + (x_2^2 - x_3^2) + (y_2^2 - y_3^2) \\ \vdots \\ 2(x_n - x_1)x + 2(y_n - y_1)y = [(r_{1h})^2 - (r_{nh})^2] + (x_n^2 - x_1^2) + (y_n^2 - y_1^2) \end{cases} \quad (7)$$

由式(7)中任兩條關係式，便能解算出收發器的水平座標( $x, y$ )。但斜距量測隱含誤差，所以利用任意式(7)中任兩條關係式所解出來的收發器位置不見得會一樣，可以藉由線性最小平方法解決此一問題。由於式(7)可以表示成以下矩陣形式：

$$\mathbf{AX} = \mathbf{B} \quad (8)$$

其中，

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_2) & 2(y_1 - y_2) \\ 2(x_2 - x_3) & 2(y_2 - y_3) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_n - x_1) & 2(y_n - y_1) \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} (r_{2h}^2 - r_{1h}^2) + (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) \\ (r_{3h}^2 - r_{2h}^2) + (x_2^2 - x_3^2) + (y_2^2 - y_3^2) \\ \vdots \\ (r_{1h}^2 - r_{nh}^2) + (x_n^2 - x_1^2) + (y_n^2 - y_1^2) \end{bmatrix} \quad (11)$$

根據線性最小平方法(Least-squares)，可以藉由下式求解收發器(水下載具)的水平座標 ( $x, y$ )：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} (\mathbf{A}^T \mathbf{B}) \quad (12)$$

### (3) DVL 定位

DVL 定位方式為發射一固定頻率  $f_s$  之聲波至海床，再接收由海床反射之回訊，回訊頻率為  $f_r$ ，藉由頻率偏量  $\Delta f = f_r - f_s$  來計算 DVL 與海床沿著聲束軸 (Acoustic beam axis) 的相對運動速度。令水層聲速為  $c$ ，則 DVL 與海床沿著聲束軸的相對運動速度  $v$  可表示如下：

$$v = \frac{\Delta f}{2f_s} c \quad (13)$$

當  $v > 0$ ，表示 DVL 朝海床方向移動；當  $v < 0$ ，表示 DVL 遠離海床。為了取得 DVL 與海床的三維相對運動速度，一般 DVL 上會裝設三個或四個聲能換能器 (Acoustic transducer)，每個換能器聲束軸與 DVL 垂直軸  $Z_d$  之間的夾角，約為  $20^\circ \sim 30^\circ$  左右，如圖 2.2 所示。

當使用四個換能器的情況下，將換能器分別以編號 1、2、3、4 表示，各換能器聲束軸在 DVL 參考座標系統  $S_d (X_d Y_d Z_d)$  下的單位向量分別為：

$$\mathbf{e}_1 = [\sin \theta \quad 0 \quad \cos \theta]^T \quad (14)$$

$$\mathbf{e}_2 = [0 \quad \sin \theta \quad \cos \theta]^T \quad (15)$$

$$\mathbf{e}_3 = [-\sin \theta \quad 0 \quad \cos \theta]^T \quad (16)$$

$$\mathbf{e}_4 = [0 \quad -\sin \theta \quad \cos \theta]^T \quad (17)$$

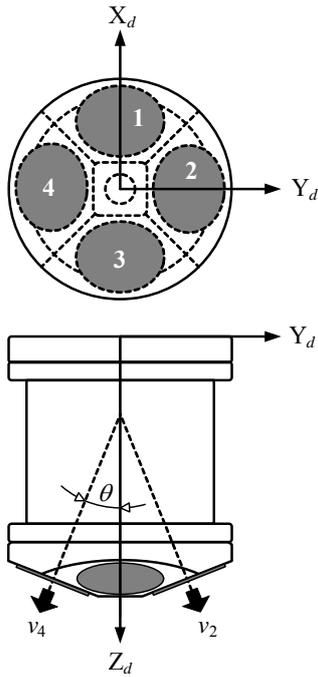


圖 2.2 DVL 一般構型與座標系統

令 DVL 各換能器量測到沿著聲束軸方向的相對運動速度分別為  $v_1$ 、 $v_2$ 、 $v_3$ 、 $v_4$ ，而 DVL 相對於海床之運動速度在參考座標系統  $S_d$  下為  $\mathbf{v}_d = [v_{dx}, v_{dy}, v_{dz}]^T$ ，則  $\mathbf{v}_d$  在各換能器聲束軸方向的速度分量可以表示為：

$$v_i = \mathbf{e}_i \cdot \mathbf{v}_d \quad i = 1 \sim 4 \quad (18)$$

理論上，從式(18)中任意取三個條件就可以解出  $\mathbf{v}_d$ 。然而，在無法避免量測誤差與系統誤差的情況下，任取三個條件所計算求得的  $\mathbf{v}_d$  不會一致，因此可以透過線性最小平方法來解算 DVL 運動速度  $\mathbf{v}_d$ 。將式(18)以矩陣形式表示如下：

$$\begin{bmatrix} \sin \theta & 0 & \cos \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{dx} \\ v_{dy} \\ v_{dz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} \quad \text{or} \quad \mathbf{E} \mathbf{v}_d = \mathbf{v} \quad (19)$$

利用線性最小平方法，可以估算出 DVL 在參考座標系統  $S_d$  下的運動速度  $\mathbf{v}_d$  為：

$$\begin{bmatrix} v_{dx} \\ v_{dy} \\ v_{dz} \end{bmatrix} = \mathbf{v}_d = (\mathbf{E}^T \mathbf{E})^{-1} (\mathbf{E}^T \mathbf{v}) \quad (20)$$

一旦取得 DVL 在參考座標系統  $S_d$  下的運動速度，接著可以透過座標轉換原理以及姿態感測器的量測資料，計算出 DVL 在導航座標系統下的相對運動速度。令姿態感測器量測到水下載具的艏向 (Heading)、縱搖角 (Pitch)、橫搖角 (Roll) 分別為  $\psi$ 、 $\theta$ 、 $\phi$ ，則由參考座標系統  $S_d$  轉換到導航座標系統的旋轉矩陣可以表示如下：

$$\mathbf{R}_n = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (21)$$

所以 DVL 在導航座標系統下的相對運動速度  $\mathbf{v}_n$  可以由下式計算得到：

$$\mathbf{v}_n = \mathbf{R}_n \mathbf{v}_d \quad (22)$$

將  $\mathbf{v}_n$  對時間積分，便能估算出 DVL (水下載具) 在導航座標系統下的相對位移：

$$\mathbf{x}_n(t) = \mathbf{x}_n(t_0) + \int_{t_0}^t \mathbf{v}_n(\tau) d\tau \quad (23)$$

#### (4) 卡曼濾波

卡曼濾波於 1960 年被提出 (Kalman, 1960)，是一種利用迭代與遞迴程序來達成最佳線性估測的有效工具，它特別適合用來進行感測資料融合，而且也已經被廣泛地應用於各種導航與追蹤系統。以卡爾曼濾波在本研究計畫的應用來說，就是以遞迴的方式來最

佳化估算水下載具的位置。本研究擬採用的卡曼濾波系統包含系統狀態與量測資訊，其系統狀態可以表示為離散一階線性系統：

$$\bar{x}_{k+1} = \Phi_k \bar{x}_k + \Gamma_k \bar{w}_k \quad (24)$$

其中， $\bar{x}_k$  代表在  $t_k$  時間下的狀態向量， $\Phi_k$  為狀態過渡矩陣， $\bar{w}_k$  為程序雜訊， $\Gamma_k$  則為程序雜訊分佈矩陣，負責將程序雜訊加入  $\bar{x}_k$ 。至於量測模式則利用離散一階線性方程式來表示：

$$\bar{z}_k = H_k \bar{x}_k + \bar{v}_k \quad (25)$$

其中， $\bar{z}_k$  代表在  $t_k$  時間下的量測資訊， $H_k$  是觀測矩陣， $\bar{v}_k$  為量測雜訊。程序雜訊  $\bar{w}_k$  與量測雜訊  $\bar{v}_k$  均為白雜訊（高斯分佈），而且  $\bar{w}_k$  與  $\bar{v}_k$  並不相關，其共變異矩陣表示如下：

$$E[\bar{w}_k \bar{w}_i^T]_k = \begin{cases} Q_k, & i = k \\ 0, & i \neq k \end{cases} \quad (26)$$

$$E[\bar{v}_k \bar{v}_i^T]_k = \begin{cases} R_k, & i = k \\ 0, & i \neq k \end{cases} \quad (27)$$

$$E[\bar{w}_k \bar{v}_i^T]_k = 0, \quad \text{for all } k \text{ and } i \quad (28)$$

一旦上述系統模式確定之後，就可利用以下卡曼濾波方程式來進行狀態修正：

$$K_k = P_k^- H_k^T [H_k P_k^- H_k^T + R_k]^{-1} \quad (29)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k [\bar{z}_k - H_k \hat{x}_k^-] \quad (30)$$

$$P_k = [I - K_k H_k] P_k^- \quad (31)$$

$$\hat{x}_{k+1}^- = \Phi_k \hat{x}_k \quad (32)$$

$$P_{k+1}^- = \Phi_k P_k \Phi_k^T + \Gamma_k Q_k \Gamma_k^T \quad (33)$$

其中， $\hat{x}_k$  代表狀態向量  $\bar{x}_k$  的估算值， $\hat{x}_k^-$  與  $P_k^-$  分別表示量測值尚未更新之前的狀態估算值與誤差共變異估算值。詳細的卡曼濾波演算程序如圖 2.3 所示。

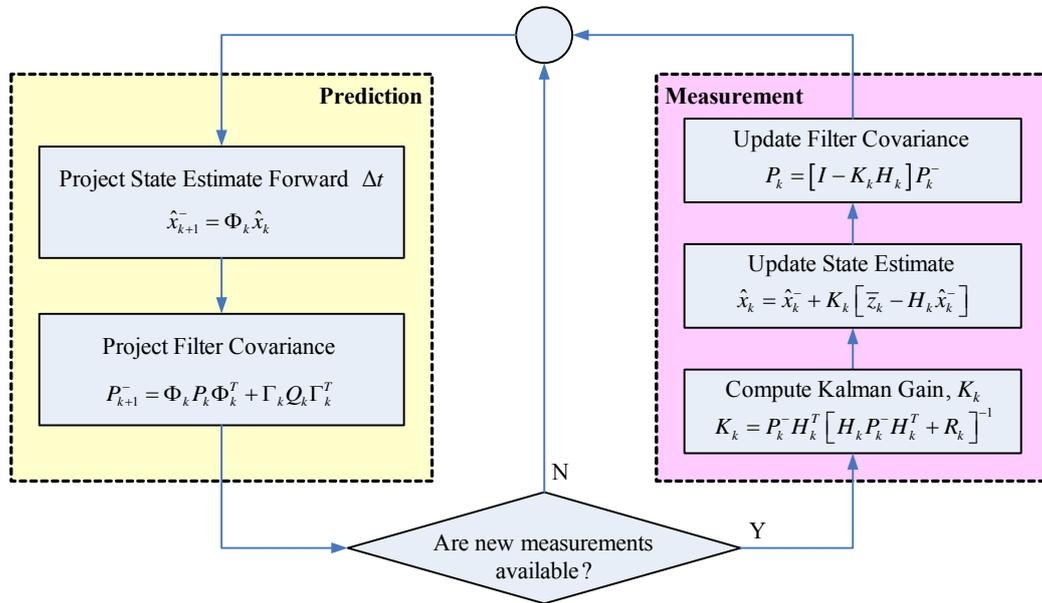


圖 2.3 卡曼濾波演算設計

### 2.1.2 水下多音束系統整合研究

為了提高多音束測深系統之水深量測解析度，通常只能夠將此測深系統安裝固定於 ROV 或 AUV 等水下載具上，然而若欲將特定多音束測深系統之許多感測器安裝固定於水下載具上，是需要事先經過仔細設計其可能整合之感測器組合，例如：多音束測深系統音鼓及處理器、單點聲速量測儀、船隻姿態收集器、航向儀、水下定位系統、深度計等，亦必須考慮其尺寸、重量、浮力、重心等，並無法隨意的將上述感測器架設在任意的水下載具上。因此本計畫設計一個載台，並將多音束測深系統與水下定位系統之所有相關感測器固定安裝於此載台上，再以一金屬纜繩調掛此載台，然後將此載台下降垂掛在船側面，藉以增加測深系統之測深解析度，亦即降低多音束測深系統之足印(footprint)大小。

多音束測深系統在進行測量時，須即時修正載具之姿態與音鼓表

層的聲速。載具姿態之修正一般以船隻姿態收集器(motion sensor)來記錄船體的運動，以利在後續的資料修正處理。本研究案所使用之儀器為 IXSEA 公司生產的 OCTANS 100，是世界 IMO 認證的測量級船隻姿態收集器(包含：羅經)，內含 3 個光纖陀螺和 3 個加速度計，可以測量載具的六個自由度運動姿態以及真北方位角。它內置有真實起伏量測濾波器(True Heave)，在任何情況下，均能即時提供精確可靠的船隻起伏(heave)資料。該系統啟動 5 分鐘後，即能獲得穩定的輸出資料。其精度方面，在 Roll and pitch accuracy (橫搖/縱移之精度):  $0.01^{\circ}$ ，在 Heading- accuracy (船艙向精度):  $0.02^{\circ}$ ；在 Heave accuracy (起伏精度): 5 cm or 0.5%之水深範圍設定值(取較高者)。

多音束測深儀需要即時輸入音鼓表層的聲速，來做聲納處理器之發射與接收的轉向計算。主要影響水中聲速為溫度、鹽度、壓力，一般水中聲速約可視為 1500 m/sec，然而水溫每增加  $1^{\circ}\text{C}$ ，聲速約增加 4.5 m/sec；鹽度每增加 1‰，聲速約增加 1.3 m/sec；壓力每增加 100 m，聲速約增加 1.7 m/sec。一般而言，海水的鹽度變化不大，影響水中聲速主要因素為溫度，聲速與溫度的相關性如圖 2.4 所示。因此若要求得聲波傳播速度，必須掌握測區之溫度、鹽度及深度條件。

此外，海面之潮汐與載具入水深度的變化，也會影響到量測水深，因此在進行本研究案之測量時，須在岸邊架設潮位計來做水位的修正，載具上則加裝深度計以獲得載具之入水深度，這些資料將在後處理時代入多音束測量結果進行校正。

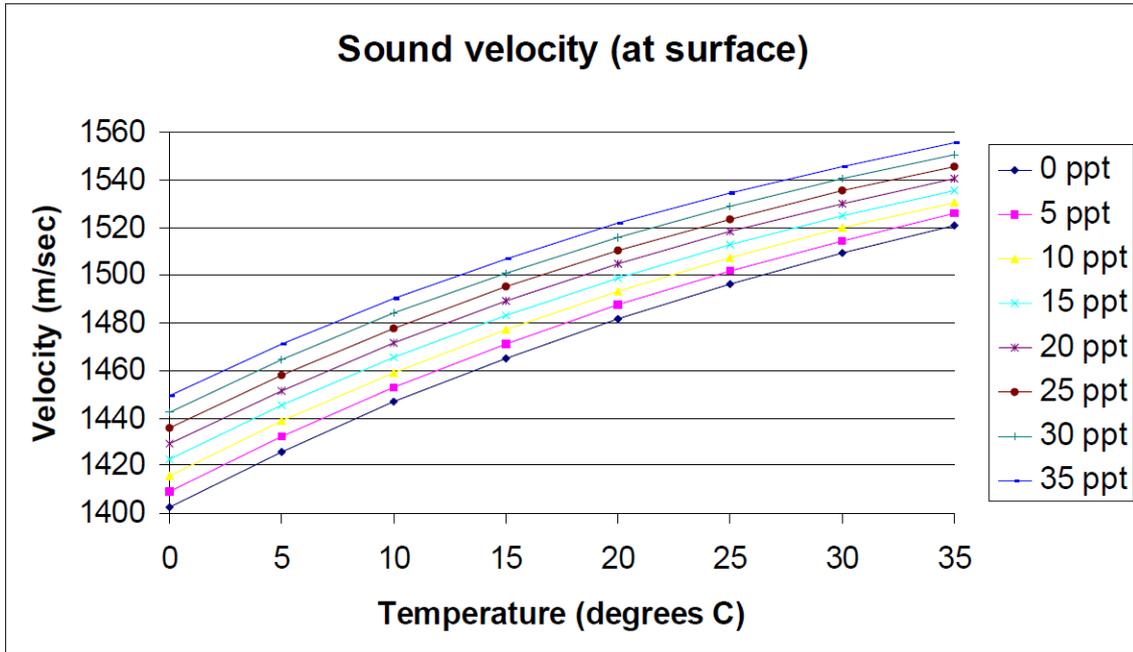


圖 2.4 聲速與溫度關係圖

目前多音束測量各感測器之即時資料是經由海測軟體(PDS2000)依時間序列來整合收集並存檔。各感測器每秒輸出之資料頻率(Hz)不同，並非等間隔的時間序列，故需以 GPS 之 1PPS(One Pulse Per Second)作為各感測器時間統一的依據。

在傳統的多音束測量作業中，定位資料(亦即 GPS)是即時傳送至海測軟體內，然而本計畫使用之長基線水下定位系統無法即時輸出定位資料，因此本研究案將嘗試以後期處理的方式將多音束測量結果與水下定位系統做結合。

## 2.2 水下多音束測深資料處理技術之探討

水下多音束測深在進行資料的前處理，包含平面定位與垂直深度之修正。

### (1)平面定位:

將長基線解算之坐標經後處理的方式重新改正水下載具的位置。

## (2)垂直深度:

載具入水的深度與潮汐之漲退會影響到量測水深，因此將載具入水深度與潮汐資料做結合，即可將水下多音束測深資料的水深修正到正確之潮位高程。

多音束測深之資料處理也需輸入一組聲速剖面值，配合聲波傳播速度可計算得到修正之水深值。為此亦可以鹽溫深儀(CTD)來量測測區之溫度、鹽度及深度，在經過經驗公式轉換為聲速剖面，然後實施測深儀之聲速剖面校正。亦可以聲速剖面儀(SVP)來測量水層之聲速剖面，在後續資料處理時輸入軟體內做校正。

水下多音束測深資料進行上述的資料整合後，其餘的處理步驟與傳統多音束測深的資料處理相同。

## 2.3 多音束測深的多重解析度資料之整合技術研究

本年度將水下多音束測深結果與水面上多音束測深結果做一比較，兩種不同高度的多音束測深系統之解析度會有所不同，水下多音束測深系統的測量解析度高但其平面定位精度較差，而水面上多音束測深系統的測量解析度較低但其平面定位精度較好。為比較兩種不同解析度的測深結果，擬尋找測量兩種測深系統共同之特徵物，將水下多音束測深系統之坐標，由水上多音束測深系統來率定，期望能達到較高平面定位精度且較高解析度之水深量測結果。

## 2.4 使用儀器之廠牌、型式、序號及照片

本年度計畫所使用之儀器規格如表 2.1 所示。

表 2.1 多音束測深系統儀器規格表

名稱	廠牌	型式	精度	照片
GPS 衛星定位儀	TOPCON	NET-G3	<p>靜態精度 3mm+0.5ppm。</p> <p>RTK 精度水平 100mm+1ppm，垂直 15mm+1ppm。</p> <p>可接收 GPS, Glonass 及 Galileo 等三種衛星。</p>	
GPS 衛星定位儀	TOPCON	Hyper Lite+	<p>靜態，快速靜態：水平精度 3mm+0.5ppm 及垂直精度 5mm+0.5ppm。</p> <p>RTK 精度：水平精度 10mm+1ppm 及垂直精度 15mm+1ppm。</p> <p>可接收 GPS 及 GLONASS 等二種衛星。</p>	
GPS 衛星定位儀	TOPCON	GB1000	<p>靜態，快速靜態：水平精度 3mm+0.5ppm 及垂直精度 5mm+0.5ppm。</p> <p>RTK 精度：水平精度 10mm+1ppm 及垂直精度 15mm+1ppm。</p> <p>可接收 GPS 及 GLONASS 等二種衛星。</p>	
自動潮位儀	Sea-Bird	SBE39	<p>溫度精確度為±0.002℃。</p> <p>解析度則為 0.0001℃。</p> <p>壓力範圍在水深 20m 以內。</p> <p>精度 2 公分。</p> <p>解析度 0.04 公分。</p>	
多音束測深儀	Reson	8125	<p>頻率為 455KHz。</p> <p>音束數目：240Beams。</p> <p>音束束寬：0.5 度。</p> <p>測深角度：120 度</p>	

名稱	廠牌	型式	精度	照片
表面聲速儀	Applied MicroSystems	SVPlus	<p>導電度解析度：一般海水 0.00005, 高濃度 0.00007, 淡水 0.00001。</p> <p>溫度解析度：0.0001。</p> <p>壓力解析度：0.002%量測範圍。</p>	
鹽溫深儀	Seabird	SBE19	<p>導電度解析度：一般海水 0.00005, 高濃度 0.00007, 淡水 0.00001。</p> <p>溫度解析度：0.0001。</p> <p>壓力解析度：0.002%量測範圍。</p>	
船隻姿態收集儀	OCTANS	100	<p>動態精度：Roll&amp;Pitch 為<math>\pm 0.01^\circ</math>，Heave 為<math>\pm 5</math> 公分或 0.5%之水深。</p> <p>船舶向測精度約為<math>\pm 0.2</math> 度。</p> <p>海上作業所需穩定時間為 5 分鐘。</p> <p>可入水 100m。</p>	
都卜勒流速計 DVL	Link-Quest Inc.	NavQuest 600P Micro DVL	<p>頻率: 600 kHz</p> <p>精度: <math>0.2\% \pm 1\text{mm/s}</math></p> <p>最大深度: 110 m</p> <p>最小深度: 0.3 m</p> <p>最大速度: <math>\pm 20</math> knots</p> <p>入水最大深度: 800 m</p> <p>最大拍發頻率 5 Hz</p>	

名稱	廠牌	型式	精度	照片
長基線 定位系 統	Link-Quest Inc	LBL PinPoint 1500	音束寬: 210° 入水最大深度: 1500 m 接收距離: 1200 m 可用頻率; 26.77 to 44.62 kHz 精度: 0.15 to 0.5 m	
深度計	Valeport	miniIPS	精度: < 0.01% Full scale 解析度: < 0.001% Full scale 入水最大深度: 1000 m	

### 第三章 專案時程及工作進度說明

#### 3.1 專案時程

表 3.1 進度甘特圖(Gantt Chart)

工作項目	第01月	第02月	第03月	第04月	第05月	第06月	第07月	第08月	第09月	第10月	第11月	第12月	備註
水下載台設計製作測試			※	--	--								
水下多音束測深系統各感測器資料同步收集之探討		--	※	--	--	※	--	--	--	※	※		
水下多音束測深資料處理技術之探討		--	※	--	--	※	--	--	--	※	※		
期中報告					--	※							
多音束測深的多重解析度資料之整合技術研究						--	--	--	--	※	※		
期末報告									--	※	※		
工作進度估計百分比(累積數)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100		
預定查核點	第1季: 編寫工作計畫書。												
	第2季: 編寫期中報告書。												
	第3季: 編寫期末報告書(初稿)。												
	第4季: 編寫期末報告書(完稿)。												
說明:(1)工作項目請視計畫性質及需要或依研究計畫綱要說明訂定。預定進度以粗線表示其起訖日期。													

(2)「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定：①工作天數②經費之分配③工作量之比重④擬達成目標之具體數字。

(3)每季之「預定查核點」，請在條形圖上標明※號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。

### 3.2 工作進度說明

表 3.2 工作進度說明

工作項目	預定進度	實際進度	備註
水下載台設計製作測試	100%	100%	
水下多音束測深系統各感測器資料同步收集之探討	100%	100%	
水下多音束測深資料處理技術之探討	100%	100%	
撰寫期中報告	100%	100%	
多音束測深的多重解析度資料之整合技術研究	100%	100%	
撰寫期末報告	100%	100%	

表 3.3 繳交成果及繳驗時程表

期別項目	繳交成果項目	繳交成果日期
期中報告	期中報告初稿十份	100年06月28日
期末報告	期末報告初稿十份	100年10月28日

## 第四章 各感測器時間同步之探討

多音束測深系統之各感測器資料的輸出率(output rate)都非常高而且資料量龐大，例如：多音束音鼓通常每秒拍發可達 15~50 次，船隻姿態收集儀通常每秒可輸出 100-200 筆資料，GPS 定位系統通常每秒可輸出 1-10 筆資料。通常多音束測深系統一個小時的作業所紀錄的資料大小約為 150MB，本年度主要目的是將水下定位系統的定位資料與多音束測深結果作整合，資料整合方式必需以時間為基準。

多音束測深屬於高精度之量測系統，時間不同步會影響水深測量之精確度，因此本章節將針對時間不同步所造成的影響作一探討，並討論以 GPS 之 1PPS 作為增加時間精度的方式，來修正時間所帶來的誤差。

### 4.1 衛星時間與 UTC 時間

水深測量各感測器中只有 GPS 訊號中包含時間序列，多音束測深及船隻姿態收集儀皆無時間資料。目前商用海測軟體的記錄方式是將每筆進入電腦資料由軟體給定時間標籤(tag)，給定時間的模式有兩種，一種是紀錄電腦本身的當地時間如圖 4.1 所示，另一種方式則將軟體的時間與 GPS 輸出之 UTC(Coordinated Universal Time)時間同步，再由軟體將多音束測深及船隻姿態收集儀之資料給定 UTC 時間如圖 4.2 所示，UTC 與台灣地區當地時間兩者相差 8 小時。

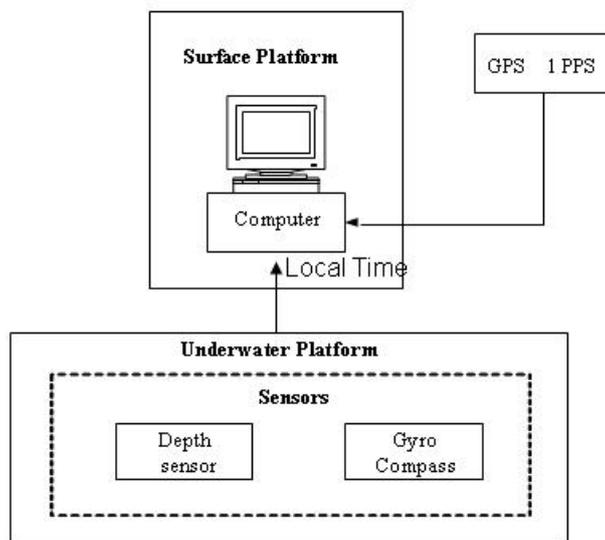


圖 4.1 資料進入電腦時間記錄流程(當地時間)

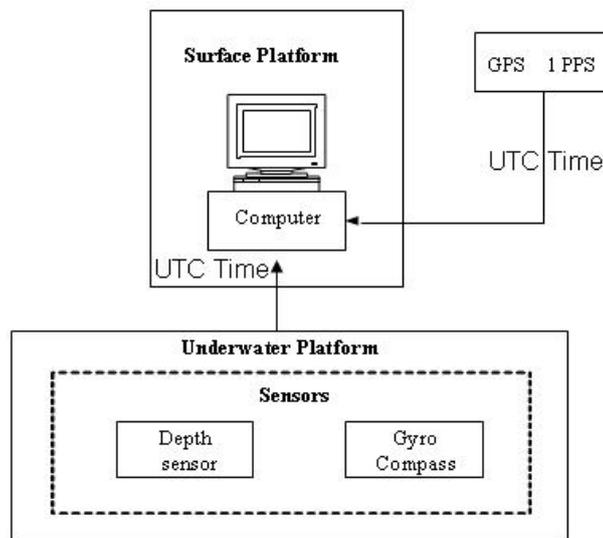


圖 4.2 資料進入電腦時間記錄流程(UTC 時間)

UTC 也就是 Coordinated Universal Time (協調世界時)是利用『原子震盪週期』來計算時間的物理時鐘(Atomic Clock, 也被稱為原子鐘)為基準所定義出來的正確時間，時間的精度非常的高。以 1999 年在美國啟用的原子鐘 NIST F-1 為例，它所產生的時間誤差為每兩千年

差一秒鐘。

電腦本身也有時間，是由主機上面的 BIOS 所提供的，BIOS 內部含有一個原子鐘在紀錄與計算時間的進行，原子鐘主要是利用計算晶片 (crystal) 的原子震盪週期去計時，每種晶片都有自己的獨特的震盪週期。因為這種晶片的震盪週期在不同的晶片之間會有些許的差異性，甚至同一批晶片也會有些許的差異 (作業溫度可能造成這樣的誤差)，因此由 BIOS 所輸出的時間並不穩定。

由於地球的旋轉速度並非定值(目前的趨勢為越來越慢)，UTC 的時間必須隨著地球的旋轉速度做調整才能與國際原子時 (TAI) 同步。國際原子時 (International Atomic Time) 是由四十多個國家時頻標準實驗室原子鐘組，由國際度量衡局 (BIPM) 平均所得並且每月公佈(中華電信研究所於 1972 年加入 BIPM 成為正式會員)，這就是閏秒的由來。若有需要做調整，會在當年的 6 月 30 日或 12 月 31 日最後一分鐘增加或減少一秒鐘。由 1958 年累計到現在，總共發佈了 36 次閏秒調整皆為正閏秒，正閏秒的意思為原子鐘的時間比國際原子時快一秒，因此在調整的那一天凌晨會出現 23:59:60 的時間，下一秒才是隔日的 00:00:00(正常情形 59 秒之後會跳隔日的 00 秒)，詳細調整的時間如圖 4.3 所示。

年	6月30日 23:59:60	12月31日 23:59:60	年	6月30日 23:59:60	12月31日 23:59:60
1972年	+1秒	+1秒	1987年		+1秒
1973年		+1秒	1989年		+1秒
1974年		+1秒	1990年		+1秒
1975年		+1秒	1992年	+1秒	
1976年		+1秒	1993年	+1秒	
1977年		+1秒	1994年	+1秒	
1978年		+1秒	1995年		+1秒
1979年		+1秒	1997年	+1秒	
1981年	+1秒		1998年		+1秒
1982年	+1秒		2005年		+1秒
1983年	+1秒		2008年		+1秒
1985年	+1秒				

圖 4.3 閏秒調整之年份

GPS 所接收之時間為地面追蹤站與衛星上面的原子鐘的時間，GPS 時於 1980 年與 UTC 時間同步，之後便無調整，因此目前 GPS 時間比 UTC 時間快 15 秒。

## 4.2 資料時間同步的探討

前面有提到在水深測量時，各感測器的輸出率並不相同，圖 4.4 為單音束測深資料、GPS 資料與湧浪補償器之起伏(Heave)資料。資料的第一欄為時間，以日為單位，基準日期為 1900 年 1 月 1 日 0 時 0 分 0 秒，由原始資料可以看出各感測器記錄的時間與間隔並不相同，在做資料合併時須有一參考基準。目前的作法是以水深資料為主，比對定位與湧浪補償器上下之起伏資料時間，以線性內差的方式求得同時間點的資料，再將這些資料整合起來。

多音束測量更為複雜，時間若無法同步，則船隻左右搖擺

(Roll)、前後傾斜(Pitch)的效應被計算到不同的時間與位置，原本應該被修正的值反而使誤差被放大，因此，今年度的計畫將探討各感測器資料的時間同步課題。

40666.37687958,-0.03, 0.00, 0.00,	40666.37687941, 6.42, DA00006.42 m
40666.37688013,-0.03, 0.00, 0.00,	40666.37688013, 6.42, DA00006.42 m
40666.37688067,-0.03, 0.00, 0.00,	40666.37688067, 6.42, DA00006.42 m
40666.37688122,-0.03, 0.00, 0.00,	40666.37688176, 6.42, DA00006.42 m
40666.37688194,-0.03, 0.00, 0.00,	40666.37688302, 6.42, DA00006.42 m
40666.37688248,-0.03, 0.00, 0.00,	40666.37688356, 6.43, DA00006.43 m
40666.37688302,-0.03, 0.00, 0.00,	40666.37688411, 6.42, DA00006.42 m
40666.37688356,-0.03, 0.00, 0.00,	40666.37688537, 6.42, DA00006.42 m
40666.37688429,-0.03, 0.00, 0.00,	40666.37688591, 6.42, DA00006.42 m
40666.37688484,-0.03, 0.00, 0.00,	40666.37688719, 6.42, DA00006.42 m
40666.37688537,-0.03, 0.00, 0.00,	40666.37688773, 6.42, DA00006.42 m
40666.37688537,-0.03, 0.00, 0.00,	40666.37688826, 6.42, DA00006.42 m
40666.37688591,-0.03, 0.00, 0.00,	40666.37688954, 6.42, DA00006.42 m
40666.37688664,-0.03, 0.00, 0.00,	40666.37689008, 6.43, DA00006.43 m
40666.37688719,-0.03, 0.00, 0.00,	40666.37689116, 6.42, DA00006.42 m
40666.37688773,-0.04, 0.00, 0.00,	

Heave 資料

單音束資料

```

40666.37689199, 1500, SV
40666.37688067, 2749040.780, 242290.329, 7.264, "", 0, $GPGBA,
$GPVTG, 99.4, T, ,, 000.14, N, 000.26, K, D*70
$GPZDA, 010243.02, 03, 05, 2011, 00, 00*64
40666.37689225, 2749040.774, 242290.354, 7.263, "", 0, $GPGBA,
$GPVTG, 95.4, T, ,, 000.19, N, 000.35, K, D*73
$GPZDA, 010244.02, 03, 05, 2011, 00, 00*63
40666.37690346, 2749040.797, 242290.297, 7.308, "", 0, $GPGBA,
$GPVTG, 103.9, T, ,, 000.12, N, 000.22, K, D*4D[
40666.37691503, 2749040.800, 242290.246, 7.356, "", 0, $GPGBA,
$GPVTG, 153.7, T, ,, 000.06, N, 000.10, K, D*42
40666.37692697, 2749040.803, 242290.226, 7.392, "", 0, $GPGBA,
$GPVTG, 70.9, T, ,, 000.05, N, 000.09, K, D*77
$GPZDA, 010247.02, 03, 05, 2011, 00, 00*60
40666.37693854, 2749040.830, 242290.214, 7.382, "", 0, $GPGBA,
$GPVTG, 76.6, T, ,, 000.07, N, 000.13, K, D*77
$GPZDA, 010248.02, 03, 05, 2011, 00, 00*6F
40666.37695012, 2749040.850, 242290.222, 7.363, "", 0, $GPGBA,

```

GPS 資料

圖 4.4 感測器之原始資料

#### 4.2.1 多音束測深系統之時間同步

前面提到電腦內部的時間並不穩定，時間的精度約為 1/18 秒，若沒有經過網路的校時，每天約減少 1.8 秒，因此，若以電腦內部時間

當作基準，其定時精度並不符合要求。

本研究團隊之多音束測深系統選擇以 GPS 時間作為資料紀錄的基準，GPS 可輸出許多格式，其中 GGA 格式除了有定位資料，同時也包含 UTC 時間，但並無年月日的資料，一但遇到跨日連續測量，資料容易混淆。ZDA 格式除了 UTC 時間外同時也包含年月日資訊，符合本研究團隊之需求。

ZDA 的格式如下：

```
$GPZDA,hhmmss.ss,dd,mm,yyyy,xx,yy*CC
```

```
$GPZDA,201530.00,04,07,2002,00,00*60
```

其中 hhmmss 為時分秒(UTC)

dd,mm,yyy 為日,月,年

xx 為當地時 -13..13

yy 為當地分 0..59

\*CC 為檢核數字

多音束測深各感測器同步的步驟為，先將海測資料接收軟體 (PDS2000)時間與 GPS 時間同步，再將每筆接收之數據加上 GPS 時間，即可完成時間之同步。

#### 4.2.2 水下定位系統之時間同步

根據第二年計畫研究結果得知，長基線定位誤差的主要來源在於無法連續收到應答器的詢答回訊，但是透過融合速度感測資料便可大幅改善其定位誤差。所以本年度計畫利用都卜勒速度儀(Doppler Velocity Log; DVL)來量測水下載台運動速度，透過整合速度與長基線斜距量測資料來預估收發器位置，以改善長基線定位誤差。因此，本研究將水下定位感測器與水下電腦整合於水下載台上，其感測器包含

長基線定位系統、都卜勒速度儀、慣性量測單元(Inertia Measurement Unit; IMU)、深度計(Depth Sensor)、陀螺儀(Gyro Compass)，其中，慣性量測單元與陀螺儀主要用於量測 DVL 與 LBL 收發器的姿態。

水下定位系統之通訊流程如圖 4.5 所示，其中水下電腦為一泛用型控制器，透過 RS232 通訊控制各感測器與接收感測資料。水面電腦則為人機介面，透過 RS422 通訊傳送控制命令至水下電腦，同時也負責接收水下電腦上傳之感測資料，並進行感測資料儲存與處理。由於多音束測深資料與定位感測資料採用不同電腦進行接收與儲存，各電腦計時器的時間並未同步。為了使各電腦有共同的時間參考基準，本研究利用水面電腦接收 GPS 1 PPS 以取得 GPS 的時間標籤訊息，並透過處理進行電腦時間與 UTC 時間轉換，使各感測資料的時間皆以 UTC 時間為共同的參考基準。

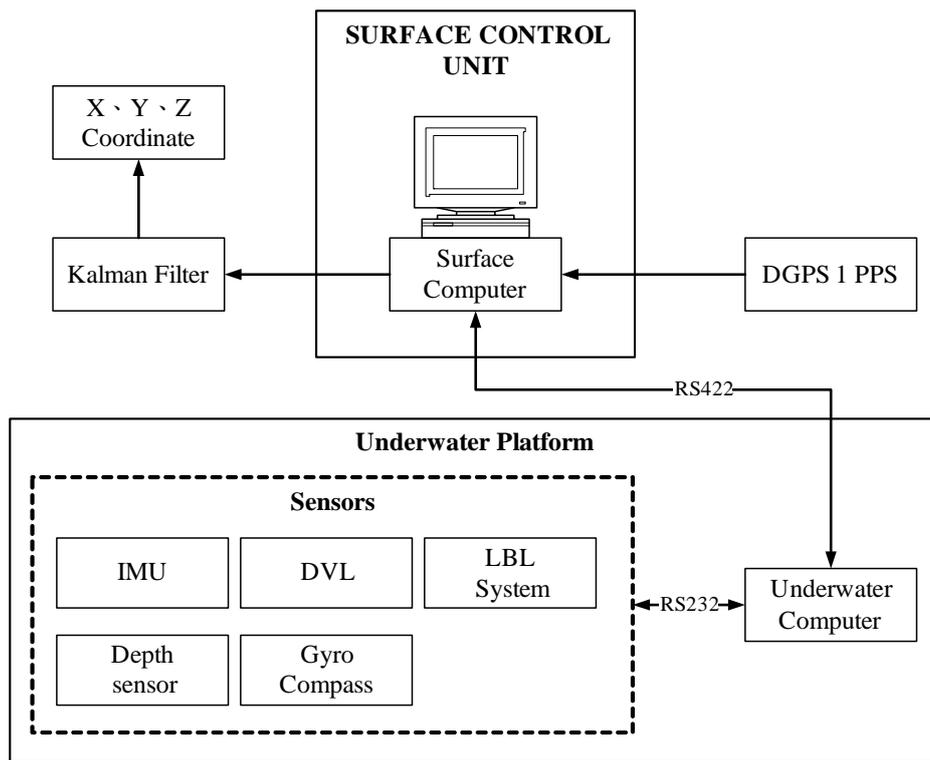


圖 4.5 水下定位系統通訊流程圖

### 4.3 時間差異所造成的影響

在第二年度報告中有提到時間延遲所造成的誤差要如何修正(疊合修正)，本章節將以實例來討論時間不同步所造成的影響。

### 4.3.1 GPS 定位時間差之影響

以 GPS 定位為例，假設測量船速為 8 節，即每一秒移動距離為 4m，若時間誤差為 0.1 秒，位置差距即為 40 公分，圖中藍色船為正確時間所移動的位置，紅色船則為時間誤差所移動的位置，則所測得之目標物會有偏移量，不同測線所得到之目標物位置不同，影像即無法重疊。若測量平坦地形則影響不大，但若是針對特徵物的搜尋(如人工魚礁、消波塊、沉船、海底電纜等)，則特徵物影像無法完全重疊。

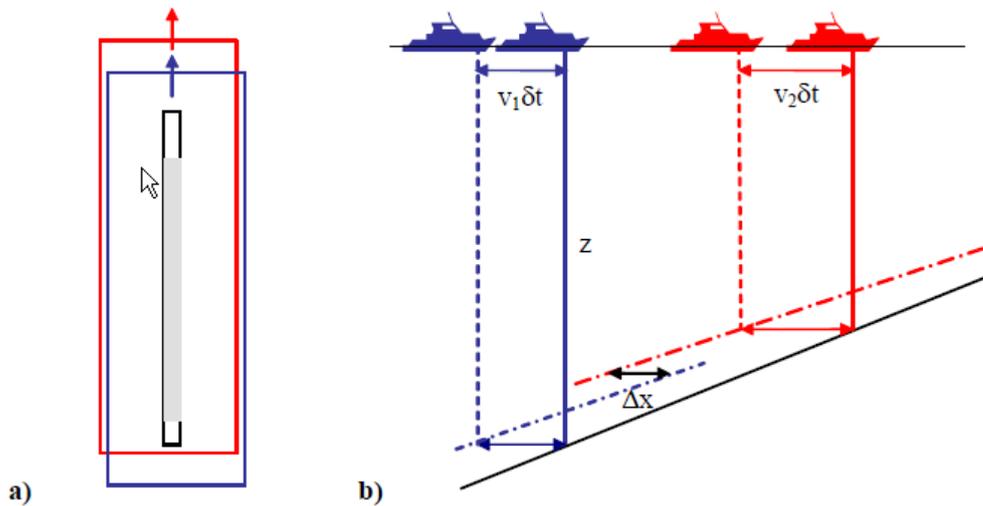


圖 4.6 定位系統時間誤差示意圖

下圖 4.7 為海床上正確之影像疊合之船型凹洞圖，圖 4.8 則是模擬 GPS 時間延遲一秒所得到之結果，比較兩張圖可以看出，在紅框的部份影像出現有凹洞，在船型凹洞的邊緣也有縐褶的產生。

比較 2D 點雲圖可以看出，時間的不同步會造成海底地形產生位移，使得影像無法完整的疊合。

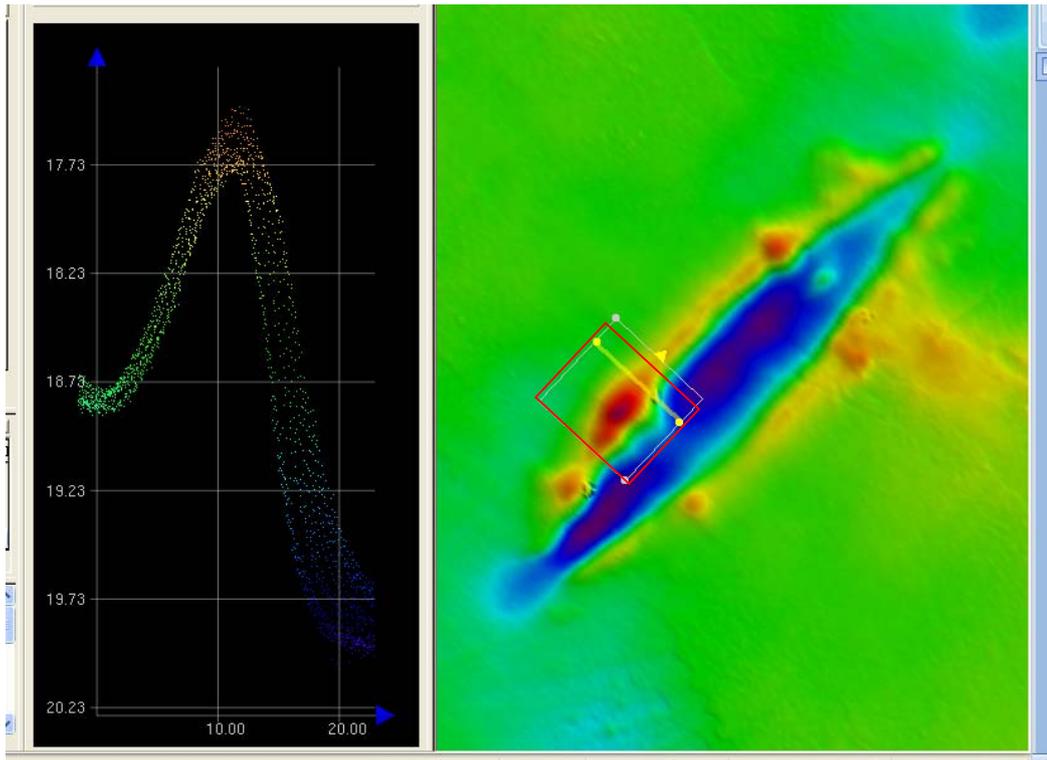


圖 4.7 船型凹洞地形

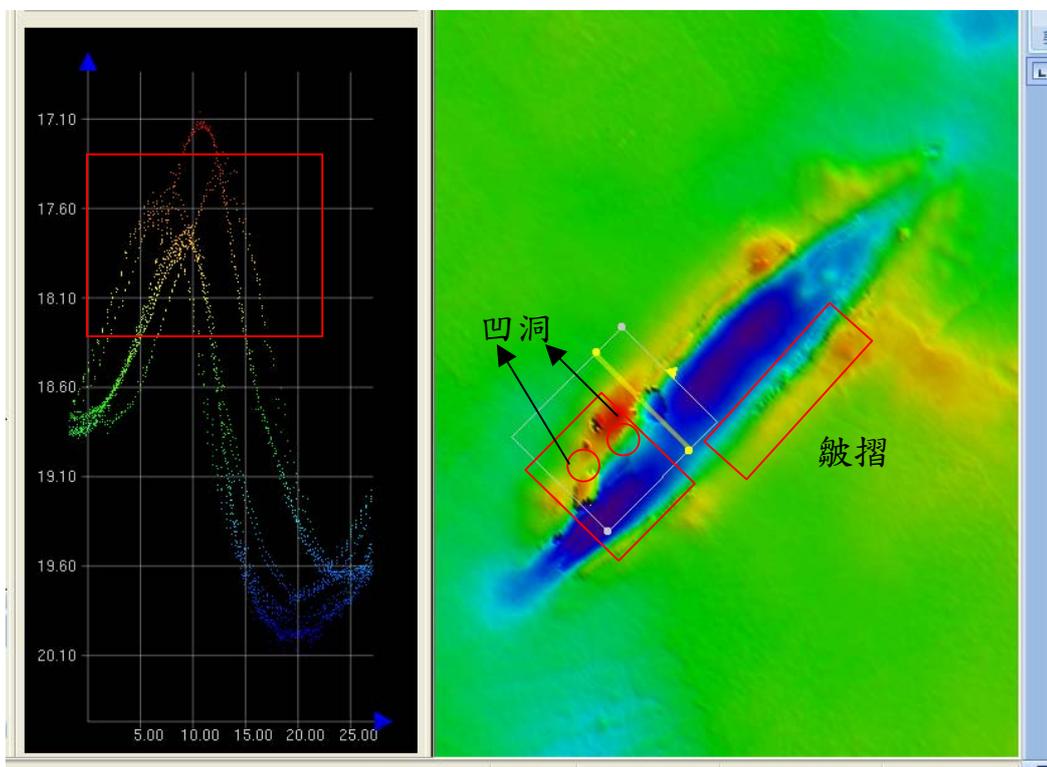


圖 4.8 船型凹洞地形(定位時間延遲一秒)

### 4.3.2 船隻姿態接收儀時間差之影響

若以船隻姿態收集儀為例來討論時間延遲所造成的差異，船隻姿態收集器共有互相垂直之三軸，每一軸同時具備有一個線性加速器 (linear accelerometer) 及一個角度變化感測器 (angular rate sensor)。線性加速器含有一片只有一個方向有彈性，其他方向則無彈性的非結晶矽片，當軸線方向有加速度時，此矽片會產生偏斜角度 (deflection angle)。然而因加速度與偏斜角度關係並非線性，另外此矽片支點 (flexure) 極為脆弱，無法直接量測偏斜角度，只能以電路量測使矽片恢復原位之電流強度，再加以線性化、尺度化 (scaling) 與偏移化 (offset) 處理可用來決定船隻姿態角度及上下起伏分量，圖 4.9 為船隻運動時所產生之三軸及 Beam angle 誤差所造成的影響示意圖，其中  $\theta$  為音束角度誤差值。

船隻受風、浪、流的影響會造成左右、前後、及上下的擺動，船隻的擺動會影響水深的測量，利用船隻姿態收集儀所記錄的三軸運動可以將其影響修正回來。

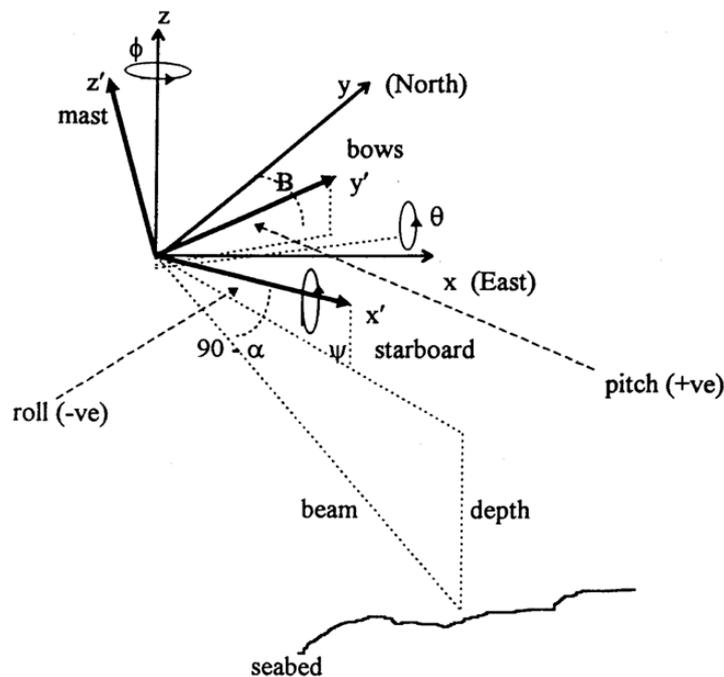


圖 4.9 船隻運動時所產生之三軸及 Beam angle 誤差造成之影響

圖 4.10 為假設船隻姿態儀與測深系統存在一時間延遲(由於作業當天海象狀況良好因此將時間誤差加為三秒)，由圖中可以發現由於船隻姿態收集儀所記錄的時間點與實際發生的時間有一落差，造成角度修正錯誤，反而使誤差被放大，讓特徵物產生扭曲變形，在船型凹洞的邊緣皺摺的現象非常明顯。

由 2D 點雲圖中可以看到，在紅框 1 的地方水深分佈由 18.2 到 17.7，變化量約為 50cm，在紅框 2 的地方水深分佈由 19.7 到 18.7，變化量約為 100cm，這種水深不一致的差異量可解釋為船隻姿態的誤差對於正中間的音束比側邊的音束影響來的小。

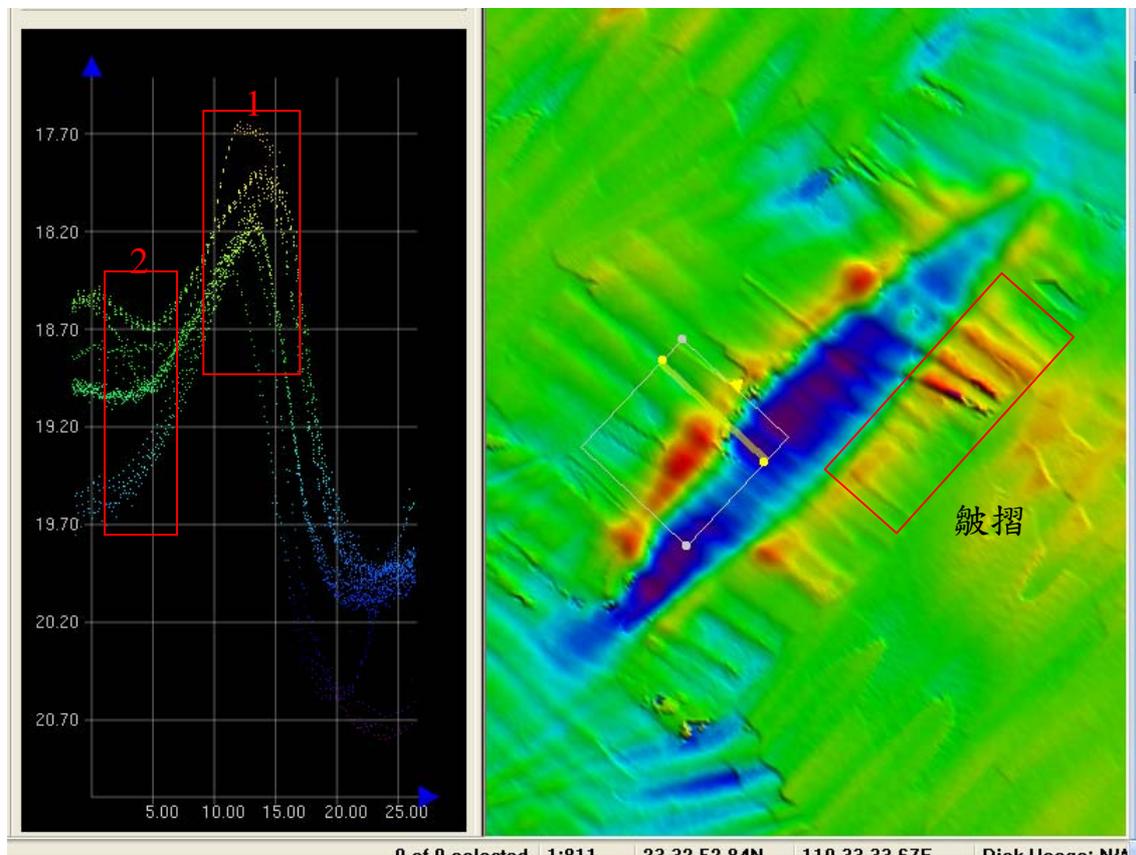


圖 4.10 船型凹洞地形(船隻姿態儀時間延遲三秒)

從上述的兩個例子不難發現時間的誤差對於測量的結果會造成一定的影響，因此，如何將每一筆資料給定一個統一基準時間是確保資料正確的第一步驟。

前面所假設的時間誤差是以秒為單位，但在實際的測量案例中，時間誤差的尺度不會到這麼大，一般是以毫秒為單位，因此，一般在資料的整合上會增加一個外部時間控制，才能達到高精度的測量結果，目前的作法是以 GPS 之 1PPS 做為時間控制的訊號。

#### 4.4 GPS 之 1PPS 的應用

1PPS(one pulse per second)中文意思為每秒鐘一個拍發，是一種以電子訊號來精確的標示出每一秒開始的時間點，目前新版的 GPS 皆可輸出這種訊號，以提供我們一種極精確的時間校正工具。

1PPS 只是一個類似電子脈衝的訊號，本身並無時間序列，其輸出的流程如下圖所示，首先由 GPS 輸出包含 UTC 時間之訊號(如 GGA、ZDA 等)以及 1PPS 電子訊號，進入一外部裝置之後，再將這兩種訊號合併起來，輸入電腦。

一般來說，資料由儀器接收之後進入電腦裡再被記錄起來，這中間會存在一個時間落差，如圖 4.11 所示，1PPS 主要目的就是在於消除這個時間誤差，而在本計劃中擬用來作為各感測器時間同步的基準。

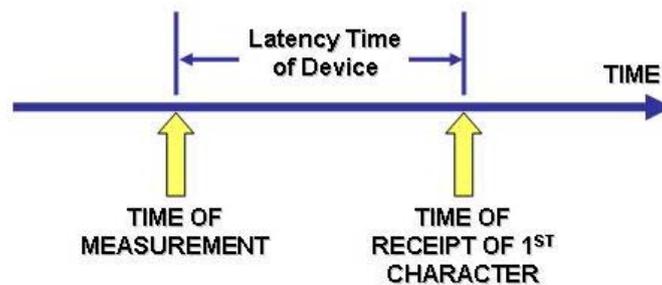


圖 4.11 時間延遲示意圖

圖 4.12 為 1PPS 輸入之流程圖，上圖為無 1PPS 裝置的情形下，電腦記錄資料的時間為 GPS 資料第一個字元進入電腦的時間，下圖為設有 1PPS 裝置，電腦記錄資料的時間為 1PPS 脈衝發生的時間。

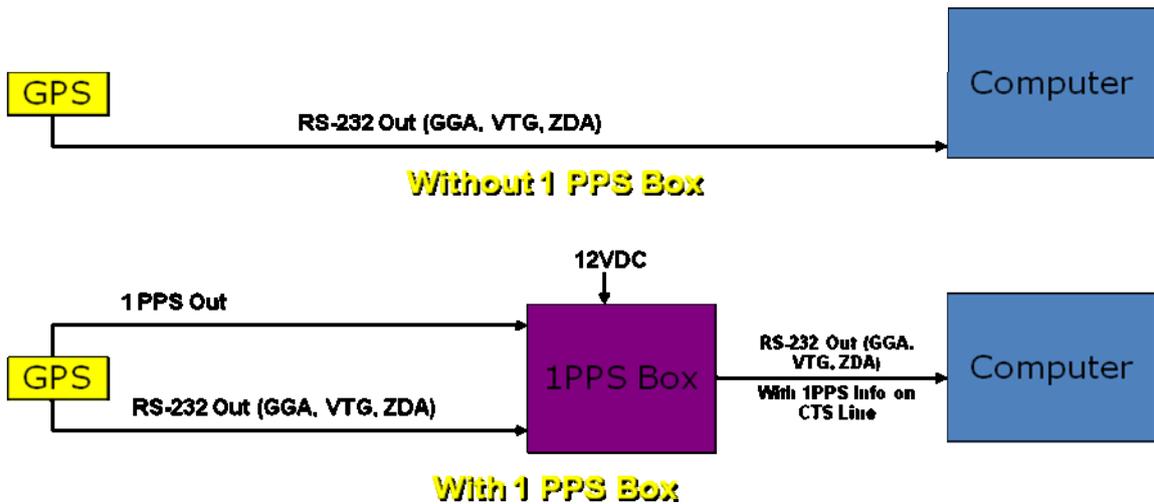
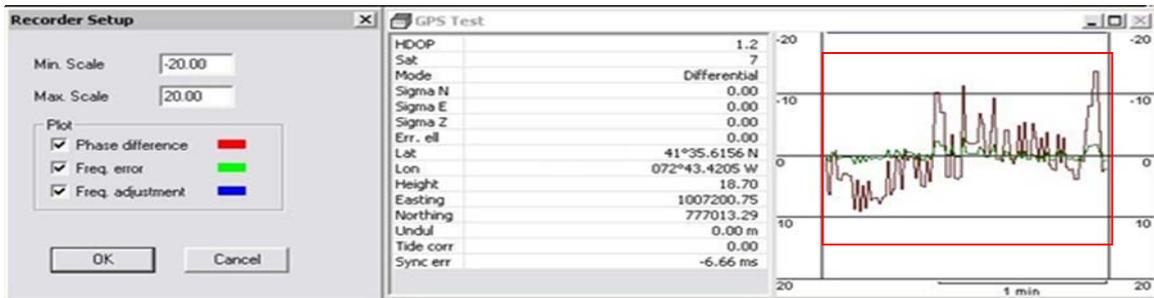
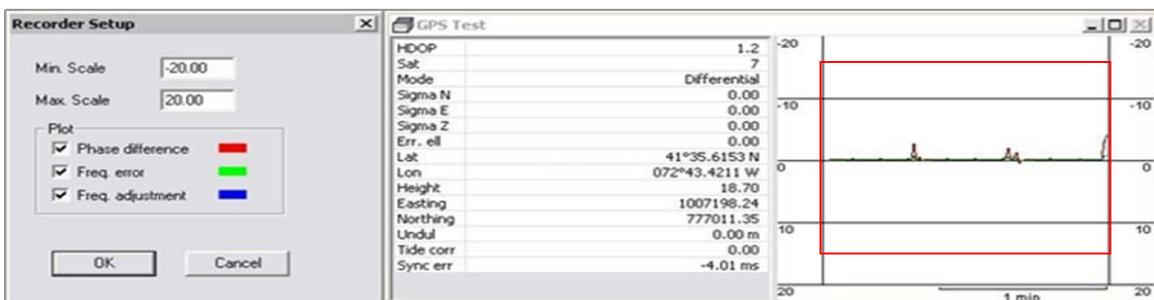


圖 4.12 1PPS 輸入流程圖

圖 4.13 為比較 ZDA 與 ZDA+1PPS 對於時間的穩定度，上圖為 ZDA 時間訊號，大約會有正負 10 毫秒的誤差，但若將時間資料加上 1PPS 訊號之後，其時間不規則的誤差明顯的收斂。



ZDA Only



ZDA and 1 PPS Box

圖 4.13 時間訊號誤差

本章節針對不同來源的時間所存在的差值(如 GPS 時間與 UTC 時間的差值)，以及時間精度所帶來的誤差效應作一探討，也看到 1PPS 對時間精度所帶來的提升，這些探討對於本年度的系統整合提供了很好的背景資訊。

## 第五章 水下載台的設計

本年度整合多音束測深系統及水下定位系統放入水中進行實測，載台的設計也是本年度計畫的重點，圖 5.1 為系統作業示意圖。是將兩套整合系統安裝於載台上，載台的上方懸掛著一浮體，用四條纜繩與載台連結，載台浮力由此浮體提供，而載台的入水深由四條纜繩的長度來決定，實驗地點選擇有水下特徵物之區域(採用大小不一之廢輪胎由潛水人員安置排列於海床上)施放深度約為 15 尺。

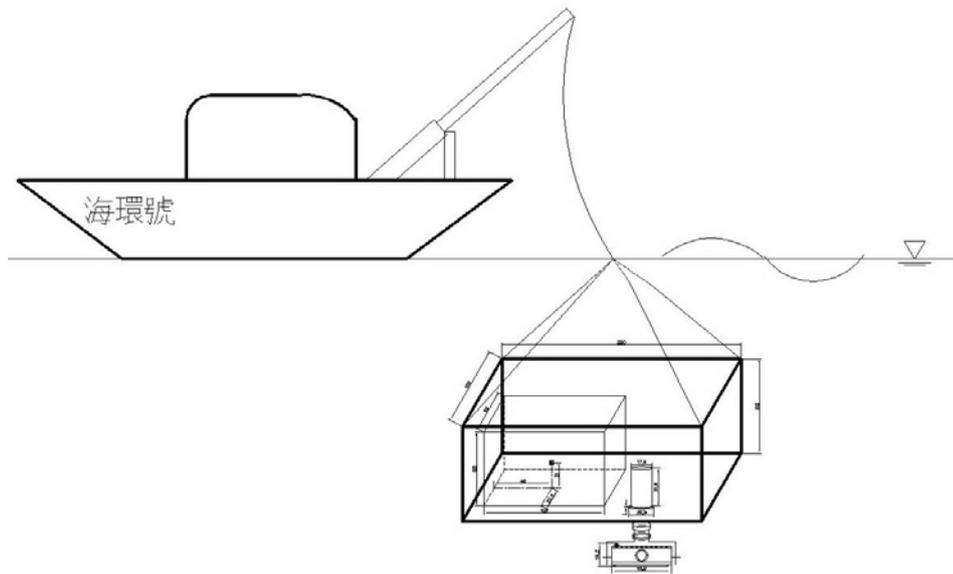


圖 5.1 載台施放示意圖

### 5.1 水下載台設計考量因子

水下載台的設計必須要考慮的因素有：

- 1.水下載台平衡性
- 2.儀器安裝可行性
- 3.水下載台施放便利性

### 5.1.1 水下載台平衡性

本計劃中水下載台本身並無動力，當進行多音束測深作業時，載台的移動是靠海流來帶動，因此，載台在水中的平衡格外的重要。除了載台的平衡之外，如何防止由側流所帶來的推力造成載台轉動的影響，也是設計上需要注意的地方。

考慮載台的配重，需要先知道各感測器於水中的重量，表 5.1 為各感測器之乾濕重。

表 5.1 各儀器乾濕重

儀器	空氣中重量(Kg)	水中重量(Kg)
水下定位系統	71	14
多音束音鼓	35	22
船隻姿態收集儀	9	2
總重	115	38

由於水下定位系統本身有浮材，因此在水中的重量僅空氣中的 1/5。在整體配重上，會以鉛塊增加其重量，為配合漁船絞機施放，整體重量以不超過 200 Kg 為原則。

### 5.1.2 儀器安裝可行性

載台除了水中平衡之外，另外需要考慮的因素為各感測器之間是否會相互干擾，整個系統中對地發射訊號的儀器有水下定位系統中的 DVL 與多音束測深，兩者的音波頻率分別為 600Khz(DVL) 與 455Khz(Multibeam)如表 5.2 所示，由於兩者的頻率相近，在儀器的配置上宜盡量增加兩者的距離。

表 5.2 使用儀器規格

名稱	廠牌	型式	精度	照片
多音束測深儀	Reson	SeaBat 8125	<p>頻率為 455KHz。</p> <p>音束數目：240Beams。</p> <p>音束束寬：0.5 度。</p> <p>測深角度：120 度</p>	
都卜勒流速計 DVL	Link-Quest Inc.	NavQuest 600P Micro DVL	<p>Frequency: 600 kHz</p> <p>Accuracy: 0.2% ± 1mm/s</p> <p>Max. altitude: 110 m</p> <p>Min. altitude: 0.3 m</p> <p>Max. velocity: ± 20 knots</p> <p>Depth rating: 800 m</p> <p>Max. ping rate: 5 Hz</p>	

另外需要考慮的因素為各種感測器電纜受力狀況，由於原有感測器皆在水面上，其原有感測器之電纜並未受力，在入水後這些電纜必須加上纜繩來承受拉力。

### 5.1.3 水下載台施放便利性

整個實驗使用的作業船隻為 CT3 漁船，尺寸規格如圖 5.2，作業空間為前方甲板，載台最大長度應不得超過 4m。

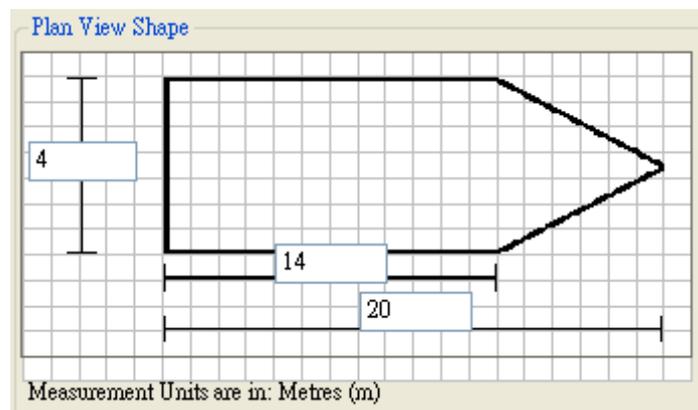


圖 5.2 作業船隻規格

## 5.2 水下載台規格

水下載台的尺寸為 300cm\*69cm\*80cm，將兩套系統分別安裝於載台的兩端，載台的材質為不鏽鋼，整個重量約 50Kg，載台設計圖如圖 5.3 所示，載台完工照片如圖 5.4 及圖 5.5，於實際製作過程中，考量到搬運時之方便性，於載台下方增加四個支腳，儀器安裝於載台上的圖片如圖 5.6 所示。使用之儀器最大入水深度限制為船姿姿態儀，可入水深度為 100m，本次實驗水深為 10m 以內，因此，水密部份不會有問題。

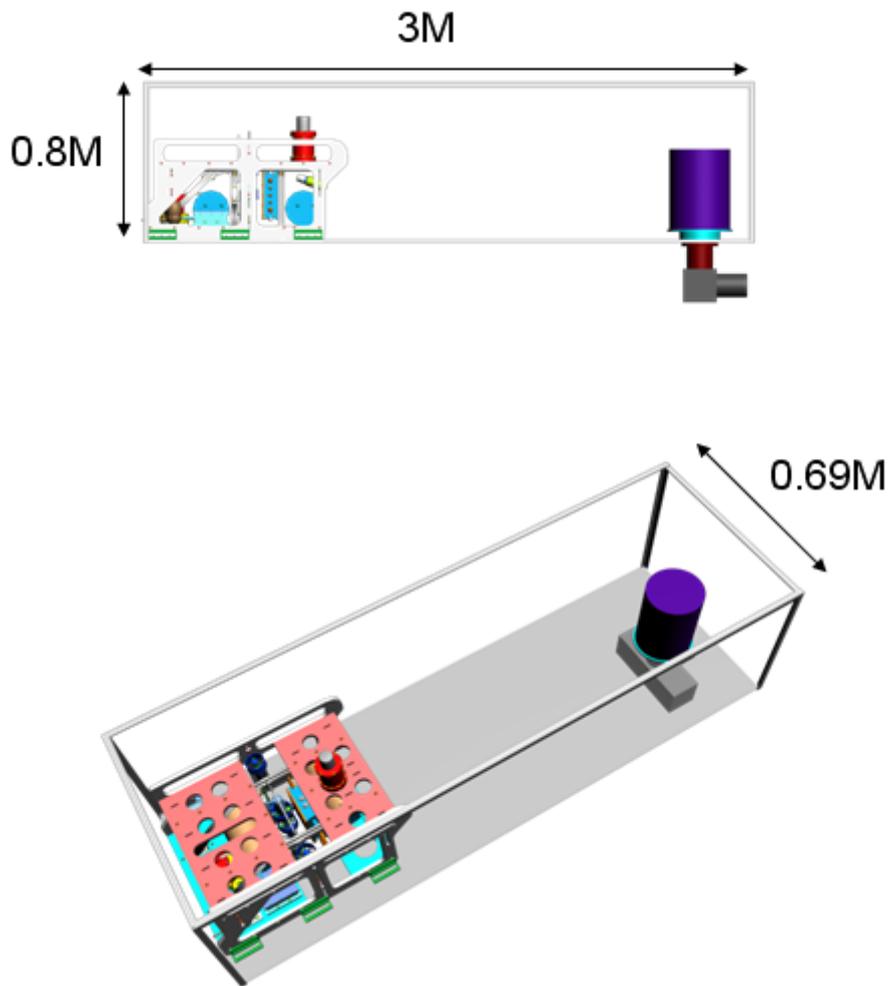


圖 5.3 水下載台的側視及等角圖



圖 5.4 水下載台完工側視圖



圖 5.5 水下載台儀器安裝孔



圖 5.6 水下載台儀器安裝完成

## 第六章 實驗成果與討論

### 6.1 實驗規劃

在考慮到各感測器電纜線的長度限制，載台實際能入水的深度約為 10m，為有效提昇解析度，因此將實驗水深設定為 15m，也就是音鼓離海床僅有 5m。所以載台入水後多音束音鼓正下方音束之解析度可由 0.131m 提升至 0.044m，最外邊的音束解析度可由 1.032m 提升至 0.344m，量測水深與足印大小之比較表如表 6.1 所示。

表 6.1 量測水深與足印大小之比較表

水深	$\alpha=0$ 度(正下方)	$\alpha=60$ 度
5	0.044	0.344
10	0.087	0.688
15	0.131	1.032
20	0.175	1.376
單位：m		

而水下目標物的選取則須兼顧到尺寸與佈放之便利性，若尺寸過大則無法顯示出解析度的差異，若尺寸過小則會增加影像辨識的難度，因此本次實驗選擇以汽車輪胎作為水中目標物測量之對象，輪胎的尺寸由 R13 至 R16，輪胎的內、外徑及高度如表 6.2 所示。

表 6.2 輪胎尺寸表

編號	外徑	內徑	高度
1	39.5	24.7	14.8
2	56.0	33.0	23.0
3	62.0	35.2	26.8
4	74.8	40.2	34.6
單位：cm			

水中應答器的佈放需考慮到距離所帶來的定位時間的延遲，因此規劃佈放四支應答器，每隻應答器相對距離為 50m，在應答器中間放水泥塊作為定位，接著潛水員由西往東每隔 1m 佈放一個輪胎，以鋼條固定於海床表面，輪胎的佈放形狀為十字型，在中間位置以兩個輪胎堆疊，增加垂直方向的變化性來幫助影像的判別，輪胎佈放方式如圖 6.1 所示，整個實驗場佈放的方式如圖 6.2 所示。



圖 6.1 輪胎佈放方式

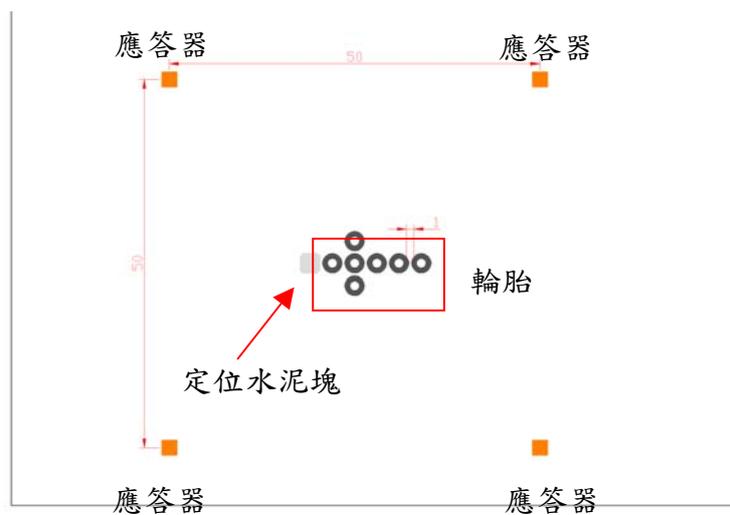


圖 6.2 實驗佈放示意圖

最後考量到載台本身並無動力，為防止因漲退潮所形成的海流影響實驗過程，參考台灣西岸等潮線圖(圖 6.3)之後，選擇潮差較小且距離本校較近的高雄港外海作為實驗場，距離柴山漁港約 4Km，水深約 15m，實驗時間選在停潮的時候，幾乎不受沿岸流的影響，實驗區域如圖 6.4 所示。

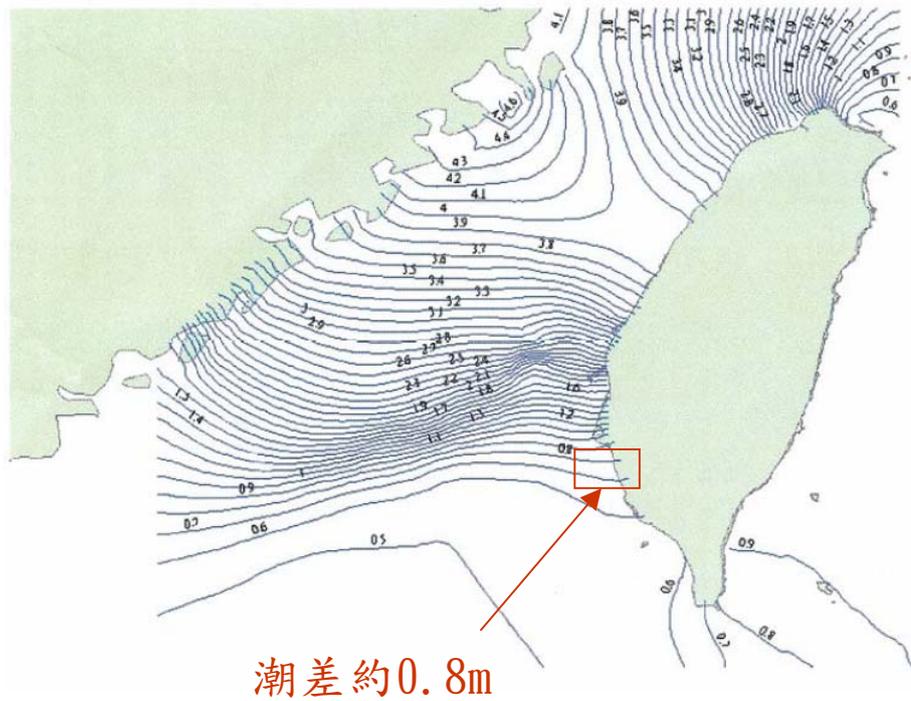


圖 6.3 台灣西部等潮位線

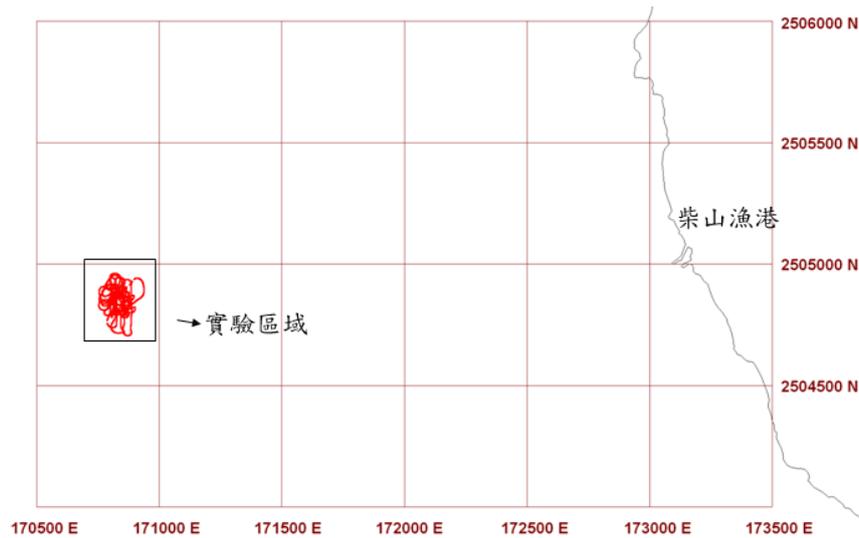


圖 6.4 實驗區域

## 6.2 實驗流程

本實驗於 100 年 8 月 18 至 19 兩日於高雄外海進行實驗，第一天先完成輪胎的佈放與水下應答器的定位，並進行傳統水面船隻多音束測量，第二天再將多音束與水下定位系統安裝於水下載台，於水中進行平衡修正之後，開始進行水下載台多音束測量，實驗流程如圖 6.5 所示。

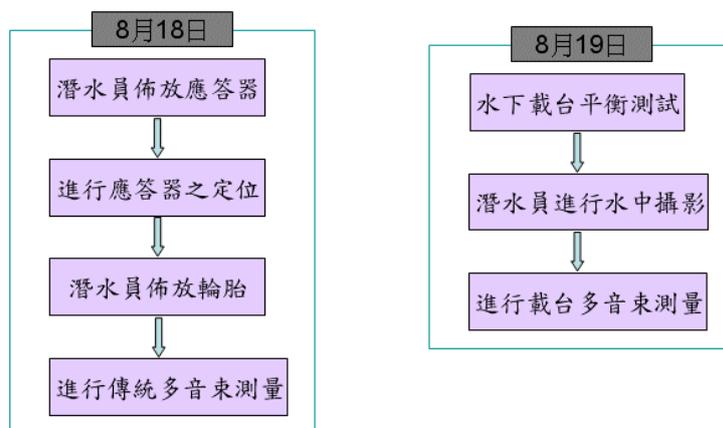


圖 6.5 實驗流程圖

現場作業照片如圖 6.6 至圖 6.11 所示。



圖 6.6 長基線應答器之定位水泥塊

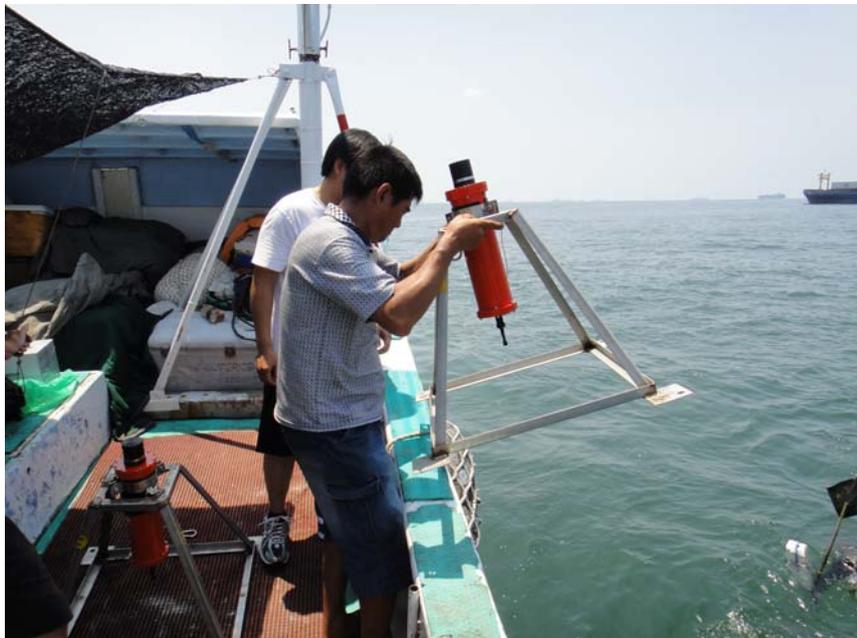


圖 6.7 佈放應答器



圖 6.8 佈放輪胎



圖 6.9 水中輪胎影像

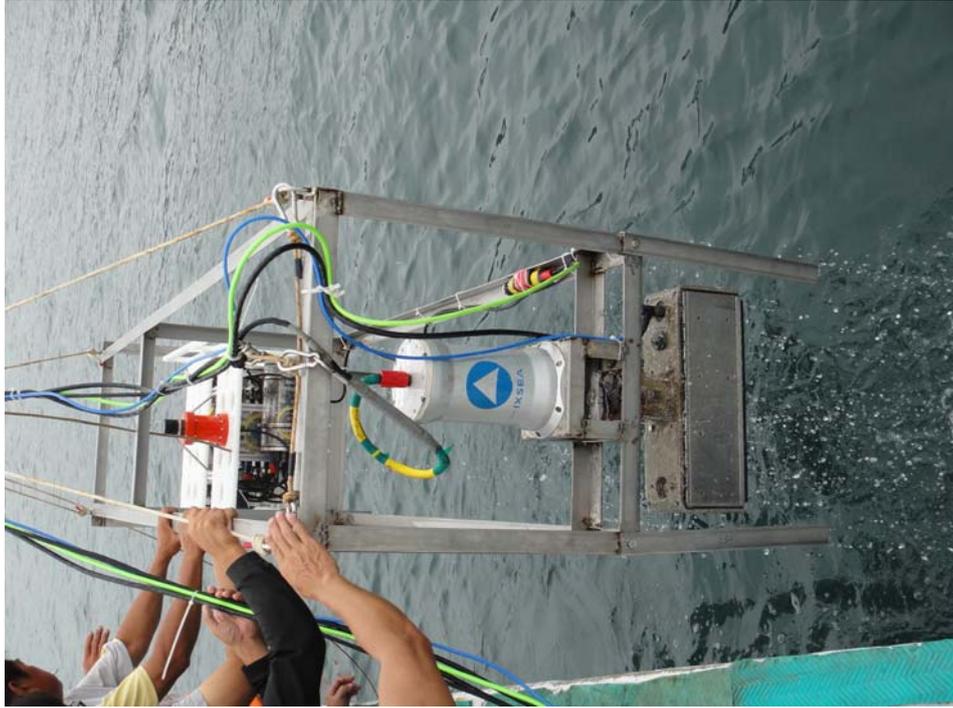


圖 6.10 施放水下載台

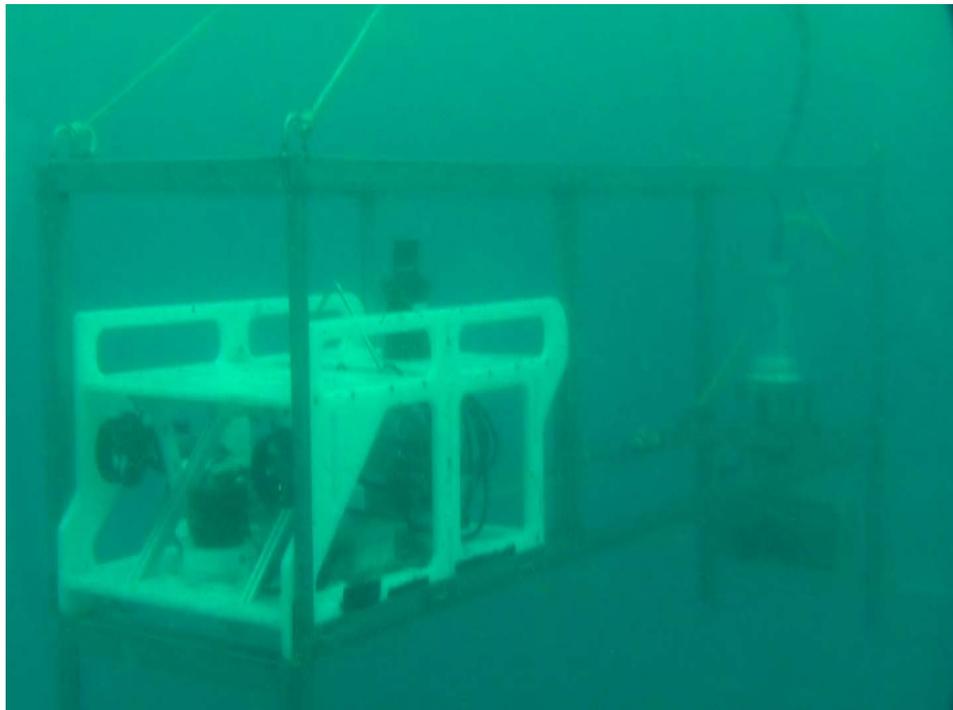


圖 6.11 載台水下影像

### 6.3 實驗結果

在傳統水面船隻多音束測量中，從現場的測深螢幕當中並無法看到輪胎的影像，但水下載台的多音束測深系統則可明顯看到輪胎較周圍海床水深為高如圖 6.12 所示，證明透過水下載具的確能有效提高多音束測深之解析度。

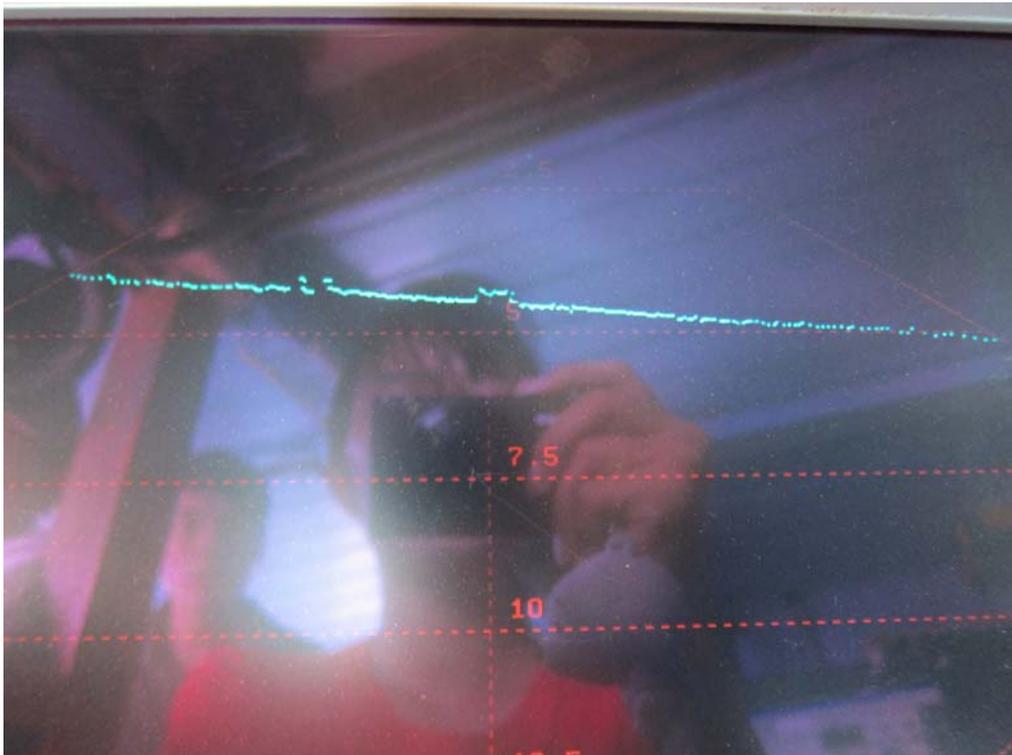


圖 6.12 多音束即時影像

本年度之主要研究目的在於合併水下定位資訊與多音束測深系統的資料，水下定位的方式為透過卡曼濾波整合長基線定位系統與 DVL，以提供水下載台多音束測深儀定位資料。本次實驗中水下定位的更新頻率(update rate)約 3 秒鐘可提供一筆有效定位資料，此定位資料為水下應答器的位置，再將此位置轉換成音鼓的位置即可供使用。

圖 6.13 中藍線為載台上 DVL 單獨之定位軌跡，綠線為載台上 LBL 單獨之定位軌跡，比較兩組軌跡圖可以看出 LBL 之軌跡呈現鋸齒狀，

而 DVL 軌跡較平滑，但 DVL 定位因積分飄移的影響，與 LBL 之定位結果有明顯偏差。

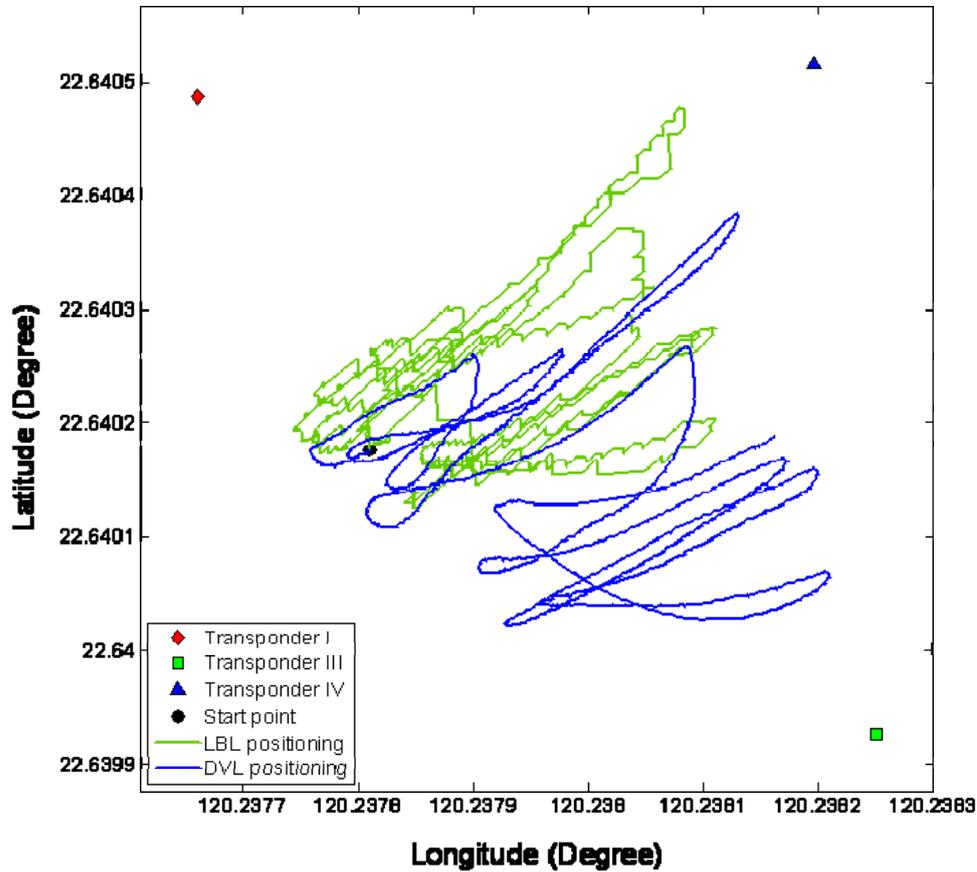


圖 6.13 水下載台之 LBL 與 DVL 之定位軌跡

圖 6.14 為利用卡曼濾波整合 LBL 與 DVL 所得之定位結果，圖中藍線為透過卡曼濾波整合長基線定位系統與 DVL 之定位軌跡，紅線為 LBL 單獨之定位軌跡，比較兩條線可以看出在透過卡曼濾波整合後之定位軌跡較為平滑，由此結果可以證實透過卡曼濾波確實可以提升水下定位之精確度。

圖 6.15a、6.15b、6.15c 為分別比較部分測線的卡曼濾波整合 LBL 與 DVL 所得之定位與漁船 GPS 之定位，除了轉彎處之外其餘的航跡線相當吻合，造成轉彎處差異較大的原因，應為航向改變造成載台遠離漁船所致。

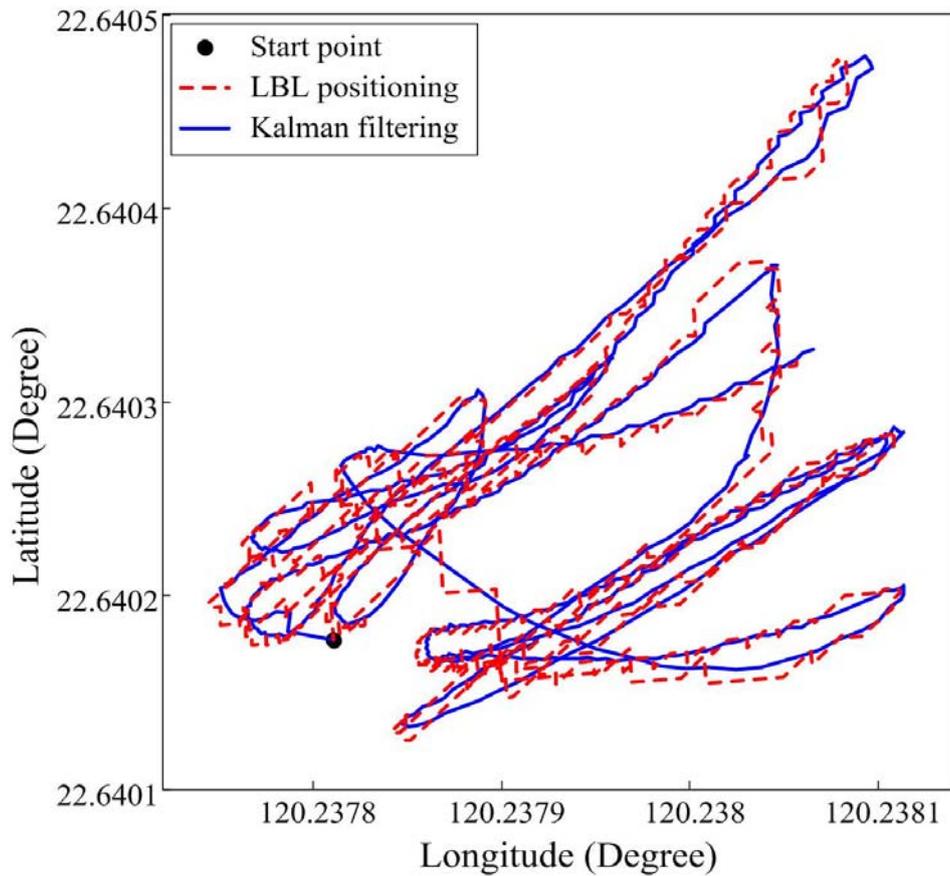


圖 6.14 利用卡曼濾波整合 LBL 與 DVL 之水下載台定位結果

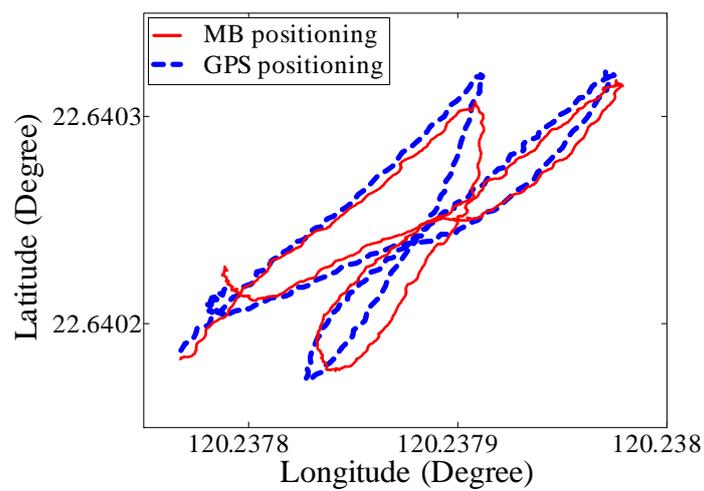


圖 6.15a 多音束聲納定位與漁船 GPS 之定位軌跡比較(a)

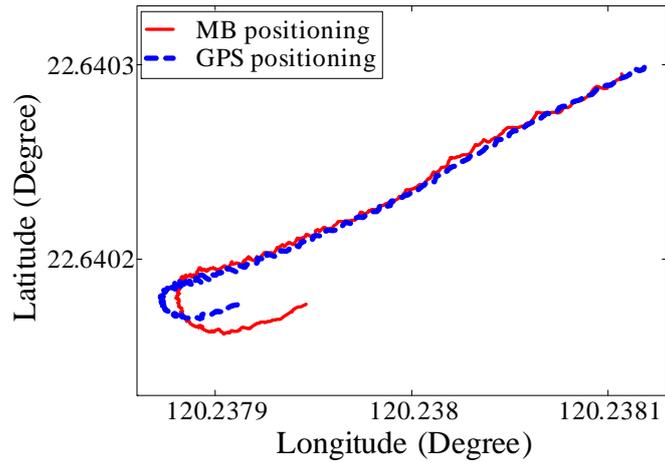


圖 6.15b 多音束聲納定位與漁船 GPS 之定位軌跡比較(b)

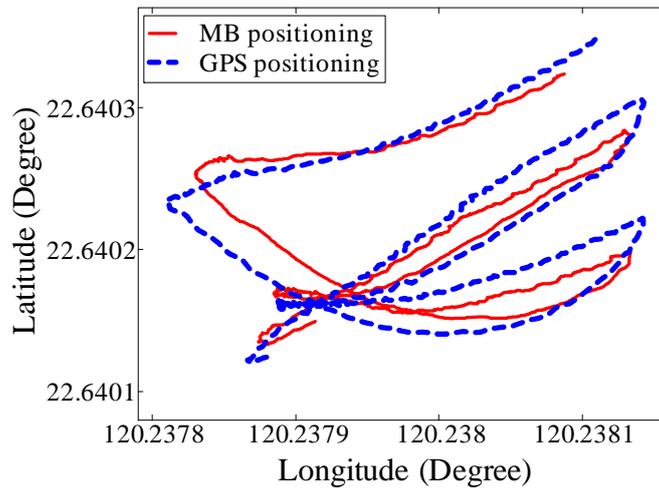


圖 6.15c 多音束聲納定位與漁船 GPS 之定位軌跡比較(c)

水下載台之多音束資料處理的流程為，先將透過卡曼濾波整合長基線定位系統與DVL所得到之定位資料結合載台上之船隻姿態儀求得載台上多音束音鼓的位置，將此定位資料結合多音束、船姿姿態儀與載台上之深度計資料後，即可得到水下載台之多音束測深資料，資料整合流程如圖 6.16 所示。

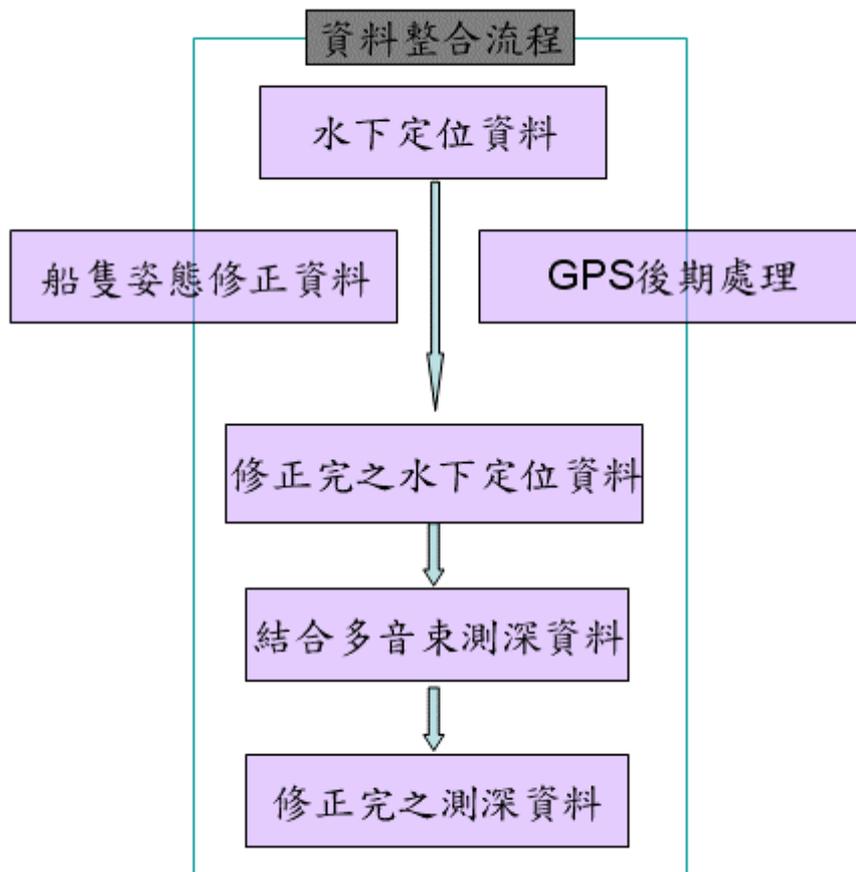


圖 6.16 資料整合流程圖

在將原始多音束測深資料經過聲速修正及雜訊濾除之後，再以3D點雲圖呈現成果，更可以比較出兩個解析度的差異，由圖 6.17 可以看出在傳統水面船隻多音束測量中，輪胎之位置僅能猜測辨識，而水下載台的多音束系統中輪胎的影像則非常明顯可見如圖 6.18 所示。

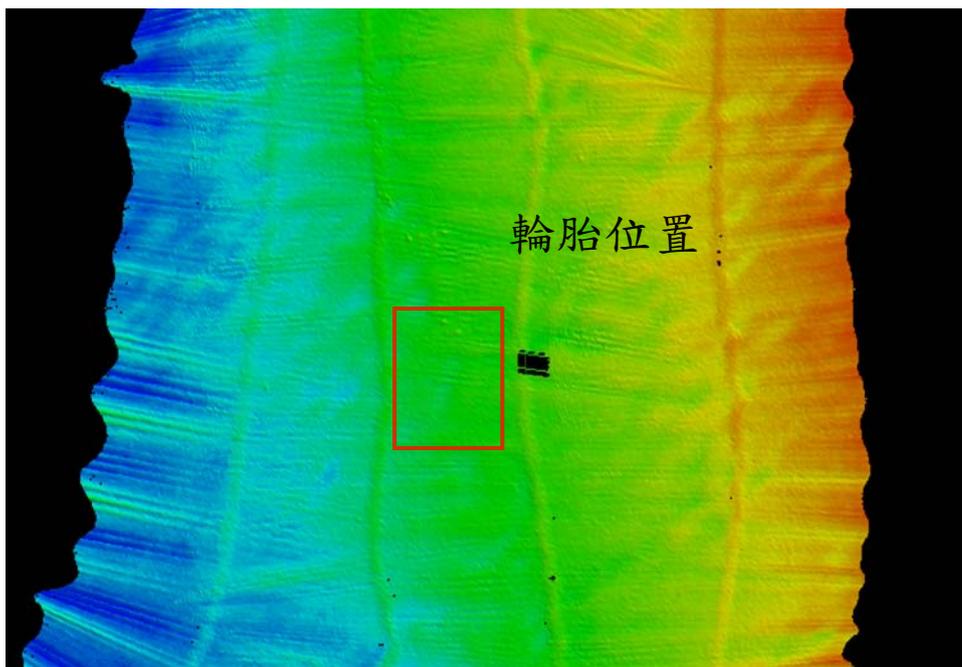


圖 6.17 傳統多音束測量結果

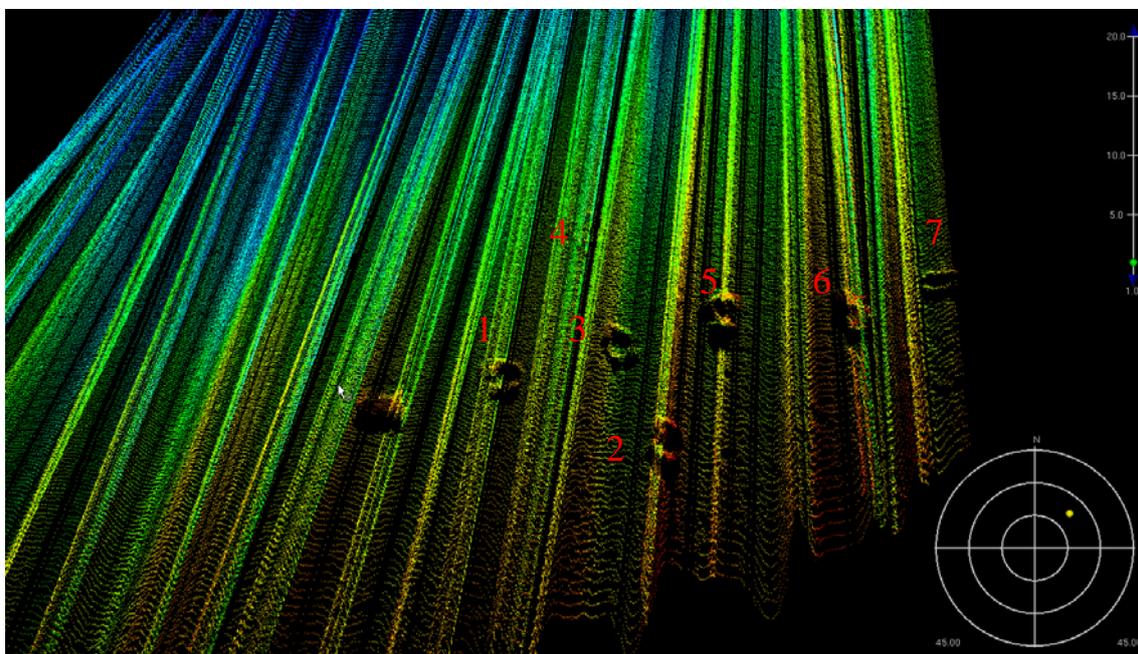


圖 6.18 水下載台所獲之水深 3D 點雲影像

由圖 6.17 中看出標示 4 的輪胎影像並不明顯，標示 6 與 7 的輪胎有變形的情況發生，其餘輪胎影像只有些微的變形。

標示 7 之輪胎尺寸為 R13，輪胎高度為 30cm，影像上可以很清楚的辨別目標物，符合預期的解析度。

影像中可以看出測量的密度並非均勻的，因為載台在測量的過程中，前進的動力是靠風推動測量船再帶動載台的前進，因此，測量的速度並非等速。由於非等速的測量，除了測量密度不均之外，若以線性內插的方式求得水下定位位置也會有誤差。標示 6 的影響明顯被壓縮，而標示 7 的影像則被拉長，標示 4 的輪胎影像不明顯，可能為輪胎在固定時有些微的沉陷而被沙子掩蓋。

表 6.3 為比較水面上與水下載台多音束測量成果，由表中可看出傳統水面多音束測量在水深 15~16m 要辨識尺寸在 50cm 以下之特徵物是有困難的。由水下載台之多音束測量成果所計算之輪胎高度與實際之輪胎高度差值約 1.6cm~13.6cm，整體來說，除了編號 5 之輪胎以外，水下載台所得到之輪胎高度比實際高度來的小。

由於載台本身無動力，除了造成上述的測量速度不一，而導致測量成果中有部分輪胎之形狀變形或不可見外，另一個問題就是無法照著規劃測線進行測量，這問題延伸出來的結果為：

(1)無法進行疊合修正

(2)無法做全面性的測量

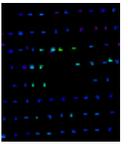
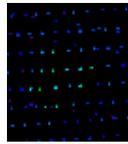
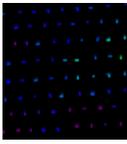
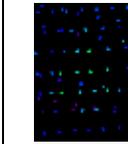
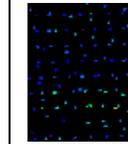
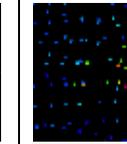
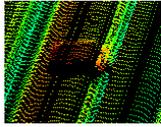
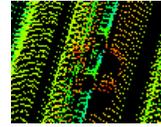
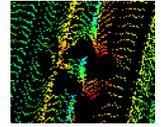
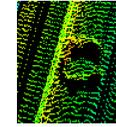
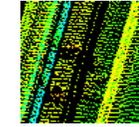
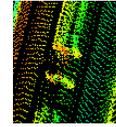
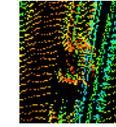
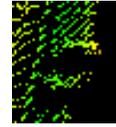
疊合修正主要是為了修正儀器本身在安裝時的角度(roll, pitch, yaw)差異與時間延遲，但在做疊合修正時，航向必須要固定且船速也需保持穩定，由於目前的水下載台無法滿足這兩個條件，多音束資料沒有經過疊合修正則無法獲得非常正確的測深結果。

整個系統平面精度最大誤差來源為水下定位系統，目前使用長基線定位，可將平面誤差縮小至 1.0~1.5m。

時間誤差的部份若有接收 1PPS 訊號，時間誤差能控制至一秒以內，對整體的影響應該不大。

在本計畫預期將水下載台所得到的測深結果，用傳統水面船隻多音束的測深成果給定精確的平面坐標以達到多重解析度測深資料的結合，但由於目前的水下載台本身無動力，除了產生測深速度不一，水下定位之線性內插會造成局部水平位置誤差外，無往返重疊測線也導致進行載台的疊合修正不易，因此若欲整合水面及水下多音束測深多重解析度資料，尚須克服特徵物由水面及水下多音束測深所產生位置差異之轉換問題，因此，多重解析度的部份還有待設計一套實驗及坐標轉換計算方式來改善之。

表 6.3 測量成果比較表

		石塊	輪胎 NO.1	輪胎 NO.2	輪胎 NO.3	輪胎 NO.4	輪胎 NO.5	輪胎 NO.6	輪胎 NO.7
圖	水上							水面上無法辨識	水上無法辨識
	水下								
輪胎實際高(cm)		40	23	34.6	46	34.6	53.6	46	29.6
輪胎最高點 (m)	水上	16.27	16.30	16.29	16.29	16.18	16.00	---	---
	水下	15.41	15.59	15.45	15.70	15.74	15.54	15.34	15.81
輪胎附近之 海底 (m)	水上	16.41	16.41	16.44	16.41	16.39	16.41	---	---
	水下	15.74	15.79	15.78	16.14	16.01	16.20	15.67	16.04
推算輪胎高 (cm)	水上	14	11	15	12	21	41	---	---
	水下	33	20	33	44	27	66	33	23
水下與實際差值 (cm)		7	3	1.6	2	7.6	12.4	13	6.6

註：於水面上偵測到輪胎影像約不到 10 個點，取打到的最高點；於水下載台方式偵測到輪胎點數較多，取眾數做為輪胎高度。

## 6.4 多重解析度

由於本年度無法克服載台的動力問題，在多重解析度的研究，將嘗試著以鑲嵌的方式將水下載具所得到的高解析度特徵物，放入傳統多音束的結果當中，要嘗試做這個結合之前，必須要知道水面上與水面下平面定位的差異有多少，比較圖 6.18 與圖 6.19，取輪胎與水泥塊的中心點比較其定位誤差如表 6.4 所示。

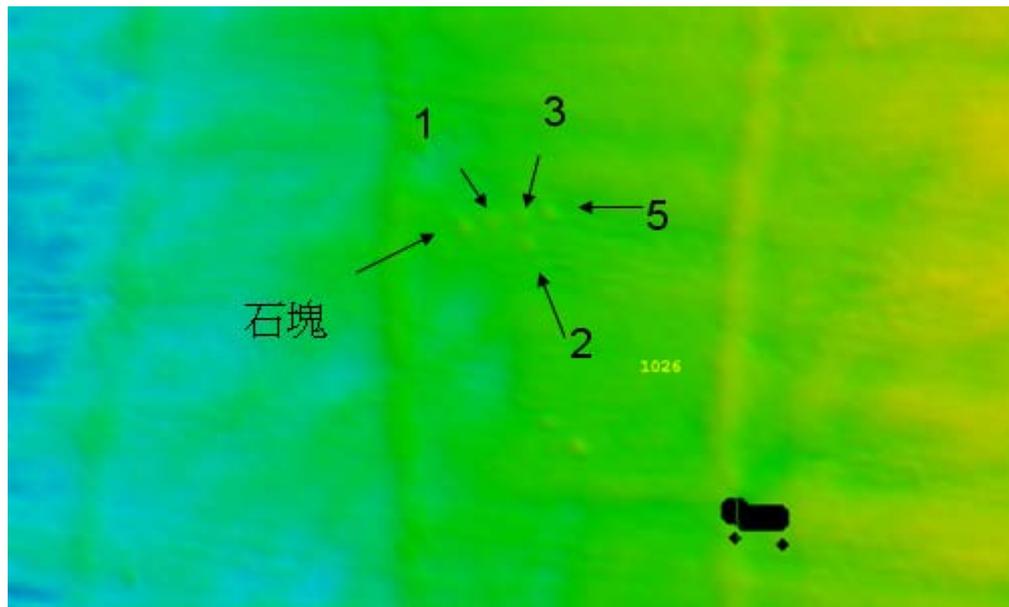


圖 6.19 傳統多音束影像

表 6.4 定位誤差表(單位為秒)

編號	石塊		1		2		3		5	
	經度	緯度	經度	緯度	經度	緯度	經度	緯度	經度	緯度
水面上多音束	16.59	24.840	16.67	24.86	16.75	24.80	16.73	24.87	16.81	24.88
水面下多音束	16.47	24.84	16.55	24.83	16.63	24.84	16.67	24.77	16.72	24.85
差值(秒)	0.12	0	0.12	0.03	0.12	0.04	0.06	0.10	0.09	0.03

由表中可以看到在東西向的差值約 1.8~3.6m 南北方向的差值約 0~3m，整體的偏移量差值不大，因此將水下多音束測得的特徵物減去常差後併入傳統多音束的測量成果後，即可得到圖 6.20 與圖 6.21。

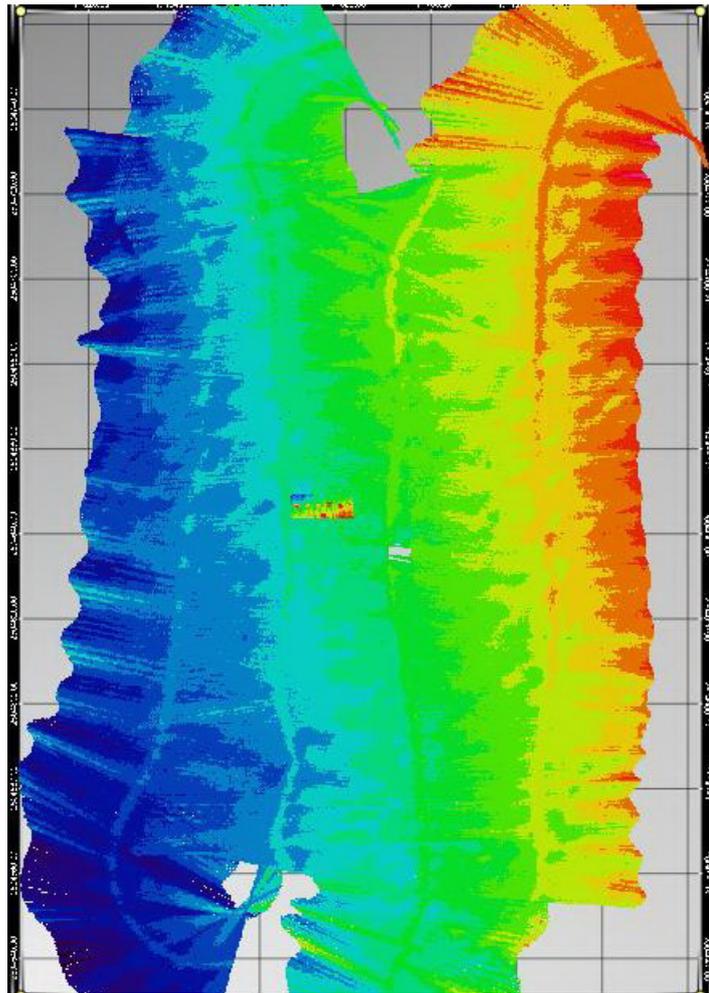


圖 6.20 全區域測量成果

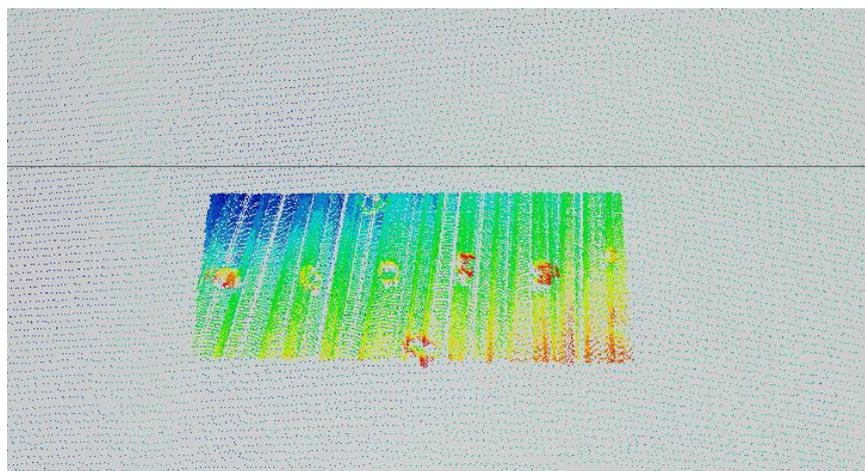


圖 6.21 小範圍測量成果

將兩個解析度的成果搭配在一起，除了可以提供全面性的水深資料之外，針對細部需要檢視的地方也可以提供高解析度的影像，未來在管線結構物的外部檢驗，或是目標物的搜索都會是很好的應用

## 第七章 結論與未來研究方向

### 7.1 結論

1. 定位、船隻姿態及水深資料，這三者間若存在時間不同步，對於水深測量資料品質皆會產生很大的影響。時間不同步的原因除了電腦紀錄時所產生的誤差之外，來源不同的時間彼此之間也會存在時間差(如 GPS 時間與 UTC 時間存在潤秒)。時間基準以 GPS 之 ZDA 格式搭配 1PPS 訊號，可有效提高時間的精度，使得各種感測器之資料能夠同步。

2. 實驗證明以水下載台進行多音束測深，確實可以增加測深之解析度，依本次實驗之設計，在離海床 5m 左右，船速在 0.5 節時的解析度可明顯辨識高於海床 15cm 的物體，達到提升測深足印解析度之目的。

3. 由於載台本身無動力所造成的影響，除了產生測深速度不一，水下定位之線性內插會造成局部水平位置誤差外，無往返重疊測線也導致進行載台的疊合修正不易，因此若欲整合水面及水下多音束測深多重解析度資料，尚須克服特徵物由水面及水下多音束測深所產生位置差異之轉換問題。

4. 本年度使用長基線作為定位，已將定位誤差控制在 3m 左右，但其有效的定位時間間隔約為 3 秒，若載台本身無固定之船速，則容易造成推估的定位與實際的位置有所差異。

### 7.2 未來研究方向

本年度的結果已證實水下載具可有效提升水深測量的解析度，未來若能給載具提供一穩定的動力，或考慮以水面船隻測量及水下載具

測深所獲得之特徵物之位置進行 2D 或 3D 之空間坐標轉換，應可解決本年度所遭遇多重解析度的問題。

## 參考文獻

1. International Hydrographic Organization, February 2008, IHO Standards for Hydrographic Surveys, 5th Edition, Special Publication No. 44.
2. International Hydrographic Organization, Nov 2001, IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data, 3.1th Edition, Special Publication No. 57.
3. International Hydrographic Organization, 1982, A Manual on Technical Aspects of the United Nations Convention on the Law of the Sea.
4. Canadian Hydrographic Services, Aug 1998, Standards for Hydrographic Surveys.
5. Canadian Hydrographic Services, Feb 2003, Minimum Standards for Hydrographic Surveys.
6. Federal Geographic Data Committee, June 2001, Shoreline Metadata Profile of the Content Standards for Digital Geospatial Metadata.
7. Federal Geographic Data Committee, June 1998, Content Standards for Digital Geospatial Metadata.
8. U.S. Army Corps of Engineers, Sept 1987, Confined Disposal of Dredged Material.
9. U.S. Army Corps of Engineers, Mar 1983, Dredging and Dredged Material Disposal.
10. U.S. Army Corps of Engineers, Nov 1996, Navigation and Dredging Operations and Maintenance Guidance and Procedures.
11. U.S. Army Corps of Engineers, Jan 2002, Engineering and Design Hydrographic Surveying.
12. U.S. Army Corps of Engineers, Jul 1998, Engineering and Design Geospatial Data and Systems.

- 13.U.S. Army Corps of Engineers, Aug 1996, Engineering and Design Policies, Guidance, and Requirements for Geospatial Data and Systems.
- 14.National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), 1997, Nautical Chart User's Manual.
- 15.National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), Jun 2000, NOS Hydrographic Surveys Specifications and Deliverables.
- 16.National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), April 2007, NOS Hydrographic Surveys Specifications and Deliverables.
- 17.National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), March 2007, Field Procedures Manual.
- 18.Land Information New Zealand, Aug 1999, Provisional Swath Sonar Survey Specifications.
- 19.日本海上保安廳，2002，日本水路測量各等級測量規則。
- 20.薛憲文，1997，應用測量學講義。
- 21.公共工程委員會，2000，港灣工程施工綱要規範。
- 22.內政部，2003，領海及鄰接區海域基本圖測量規範(草案)。
- 23.交通部運研所，2003，港灣水域水深測量(草案)。
- 24.交通部運研所，2005，淺水域多音束量測水深技術研究(1/4)。
- 25.交通部運研所，2006，淺水域多音束量測水深技術研究(2/4)。
- 26.交通部運研所，2007，淺水域多音束量測水深技術研究(3/4)。
- 27.交通部運研所，2007，淺水域多音束量測水深技術研究(4/4)。

## 附錄一 期中報告審查意見處理表

計畫名稱：MOTC-IOT-100-H2DB006c

水下自動化載具進行多音束測深之研究(3/4)

執行單位：國立中山大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
<p><b>黃明志教授：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已完成水下載台設計製作及水下多音速測深系統感測器資料同步收等方法二大項工作，符合進度。</li> <li>2. 設計水下載台時是否有參考 CT3 漁船船長操作意見。</li> <li>3. 水下載台測試結果並未在期中報告中呈現。</li> <li>4. 第五章各圖表標示不夠清楚，圖 5-2 建議標示尺寸及系統各組件名稱。</li> <li>5. P8「應答器定位估算」小節內文敘述反而沒有圖 2-1 流程圖清楚，建議補充。</li> <li>6. P13 公式(14)有誤。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員肯定。</li> <li>2. 此載台在設計時有請船長一同討論。</li> <li>3. 由於本計劃中載台主要目的在提供儀器於水中能安裝的平台，因此只針對平衡部份作測試，修正方式為增加浮材以達到平衡，這部份於現場實驗時已完成。</li> <li>4. 遵照委員意見辦理，期末報告中補充。</li> <li>5. 已遵照委員意見針對「應答器定位估算」之內容詳細補充說明。</li> <li>6. 原 P13 公式(14) (期中報告修訂版本之公式(18)) 可參照以下論文： (1)N. Brokloff, "Matrix algorithm for doppler</li> </ol>	<p>符合規範要求。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
<p>7. P14 DVL 位移公式(19)由積分而得，是否有實測數據來探討其收斂性或 Low-frequency trend 等問題。</p> <p>8. P17 與 P21 船隻姿態收集儀之精度 0.5%，5% 不一致。</p> <p>9. P35 圖 4-9 Beam angle 定義不清楚，應標示。</p>	<p>sonar navigation,” <i>Proceedings of MTS/IEEE Oceans 1994</i>, Brest, France, 13-16 Sept. 1994, Vol. 3, pp. 378–383.</p> <p>(2)R. Eustice, R. Camilli, and H. Singh, “Towards athymetry-optimized Doppler re-navigation for AUVs,” <i>Proceedings of MTS/IEEE Oceans 2005</i>, Washington, DC, USA, 17-23 Sept. 2005, Vol. 2, pp. 1430–1436.</p> <p>尚請委員指正公式錯誤之處。</p> <p>7. DVL 位移積分效能將由本年度計畫實海域測試的定位結果來呈現積分漂移(Integration drift)的情況。其定位結果將呈現於期末報告中。</p> <p>8. 遵照委員意見辦理，期末報告中修正。</p> <p>9. 遵照委員意見辦理修正事項。</p>	<p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p>
<p><b>方志中教授：</b></p> <p>1. 船舶運動名詞應採用教育部公布之“船舶名詞”以標準化。Ex：a)Roll 橫搖、b)Pitch 縱移、c)Heave 起伏、d)Yaw 平擺。</p> <p>2. 英文摘要多處文法錯誤，</p>	<p>1. 遵照委員意見於期末辦理修正事項。</p> <p>2. 報告格式遵照委員意見</p>	<p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
<p>應修正。報告格式應與港研中心規定相符。</p> <p>3. 載台尺寸 300x69x80cm 設計應再考量!。 排水量(海水): 170kg 轉船: 50kg 載重: 115kg 負載: 5kg←太少 重心位置: 1m trim←無法平衡 <math>\overline{GM} \doteq 0.06m</math>←浮力不足</p>	<p>於期末辦理修正事項, 英文摘要文法尚請委員指正錯誤之處。</p> <p>3. 載台的設計主要目的為安裝各系統, 尺寸部分應無問題, 浮力的部份, 會以浮材來增加其承載力。</p>	<p>見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p>
<p><b>劉景毅組長:</b></p> <p>1. 本年度為 4 年計畫的第三年, 建議報告中可以描述前二年之重要成果, 且委員意見與回覆應整理於報告後。</p> <p>2. 本計畫為以水下自動化載具進行之多音束測量研究。因自動化載具的研究已有停止研究, 是否文中說明, 以利讀者瞭解計畫的轉折演變。</p> <p>3. 下半年要進行實測作業, 能否說明海域實測分析之規劃, 例如: 區位?水深?使用載具?如何做驗證?</p> <p>4. 期中結論之前三點, 建議在期末報告可以整合為一。</p> <p>5. 本研究規劃之未來應用方向為何?</p>	<p>1. 遵照委員意見於期末辦理修正事項。</p> <p>2. 遵照委員意見於期末增加敘述。</p> <p>3. 遵照委員意見於期末進行說明。</p> <p>4. 遵照委員意見於期末辦理修正事項。</p> <p>5. 目前國內並無將多音束測深系統安裝於水下載具之上, 希望本研究可提</p>	<p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>符合規範要求。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
	供一個經驗，以利未來研究之參考。	
<p><b>江文山組長：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫第一年針對超短基線水下定位系統探討，第二年針對長基線水下定位系統探討，由第二年的研究成果得知長基線水下定位系統，可將水下定位誤差控制在 1.0~1.5m。第三年計畫預計整合長基線、都普勒流剖儀與深度計等，未提昇水下定位精度，目標明確可行。</li> <li>2. 從報告中可知，水下定位誤差可分為時間誤差與空間誤差，其中牽涉到多重儀器的誤差疊合，使得誤差分析相對複雜，建議於期末報告中列表說明各種誤差的範圍，並評估其綜合效益。</li> <li>3. 載台承受水壓與沒水時的水密問題的考量，請於報告中說明。</li> <li>4. 載台外形請再考量。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員肯定。</li> <li>2. 感謝委員意見，會將此部分描述於實驗結果裡。</li> <li>3. 遵照委員意見於期末增加敘述。</li> <li>4. 載台的設計主要目的為安裝各系統，外型部分應無問題。</li> </ol>	<p>符合規範要求。</p> <p>符合規範要求。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>符合規範要求。</p>
<p><b>何良勝科長：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 請於期末報告中修正部份章節編排，如第三章、參考文獻，補強前二年研究成果等，並依本所出版品編排方式辦理。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照委員意見於期末辦理修正事項。</li> </ol>	<p>已依照委員意見辦理。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
<p>2. 建議增列本計畫各項工作整合情況之流程表。</p> <p>3. 有關應答器位置估算(圖 2-1)之誤差影響因素為何?同時,圖 2-1 流程與後面(2)~(4)項有何關連?</p>	<p>2. 遵照委員意見於期末增加敘述。</p> <p>3. 應答器位置估算誤差主要來自於水層聲速隨時間與空間的變動。根據第二年度計畫的研究結果,應答器的位置估算誤差約在 10 cm 左右。長基線定位需要在海床上佈放三支以上的應答器,而且需要事先知道每支應答器的位置坐標。因此,本研究利用圖 2-1 流程來估算應答器位置,一旦應答器的位置估算出來之後,便可進行長基線定位來量測水下載具的位置。然而,無法連續收到應答器的詢答回訊是長基線定位誤差的主要來源,因此本研究透過卡曼濾波技術來整合長基線系統與都卜勒流速計,以提高水下載具的定位精度。</p>	<p>已依照委員意見辦理。</p> <p>符合規範要求。</p>
<p><b>曾相茂研究員:</b></p> <p>1. 研究步驟正確有條理,報告十分詳實,方法正確,所以成果應有具實性,且研究團隊對問題之認知及未來的貢獻應有期待。</p>	<p>1. 謝謝委員肯定。</p>	<p>符合規範要求。</p>

## 附錄二 期末報告審查意見處理表

計畫名稱：MOTC-IOT-100-H2DB006c

水下自動化載具進行多音束測深之研究(3/4)

執行單位：國立中山大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
<p><b>黃明志教授：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 完成本年度預定工作項目。</li> <li>2. 附圖品質可再加予改善。</li> <li>3. 是否可提供實驗時吊掛水下載台的照片？</li> <li>4. 圖 6.2 示意圖請標示構件名稱</li> <li>5. 圖 6.11 請標正座標，軌跡比較應校正為同一座標系才能清楚顯示其重疊性。</li> <li>6. 是否增加不同水深的實驗結果以供比較。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員肯定。</li> <li>2. 遵照委員意見於期末定稿會將圖的部份以彩色影印。</li> <li>3. 遵照委員意見於期末定稿增加圖 6.11 於 P6-7。</li> <li>4. 遵照委員意見於期末定稿增加標示。</li> <li>5. 遵照委員意見於期末定稿修正水下定位軌跡圖於 P6-9 圖 6.13~6.15。</li> <li>6. 感謝委員意見，會於明年年度實驗加入考量。</li> </ol>	<p>符合規範要求。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>符合規範要求。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>符合規範要求。</p>
<p><b>方志中教授：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 水下載台本身無動力，除測得速度不穩定外，如何控制載台本身之縱向及橫向平衡及方向穩定性(海流作用下)。</li> <li>2. 研究成果與預期十分符合。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本年度實驗當中，載台本身之運動狀況無法控制，僅靠海流控制其漂流之方向。</li> <li>2. 感謝委員肯定。</li> </ol>	<p>符合規範要求。</p> <p>符合規範要求。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
<p>3. 應建議目前系統之適用水深及環境限制。</p> <p>4. 成果明確建議進行第四年度計畫</p>	<p>3. 本年度所設計之實驗模式並無水深之限制，惟受限於本校 MBES 儀器電纜之長度，故載台入水僅能達到 9 至 10m。</p> <p>4. 感謝委員肯定。</p>	<p>符合規範要求。</p> <p>符合規範要求。</p>
<p><b>劉景毅組長：</b></p> <p>1. 依據前言之說明，應用多音速進行深水處的水深量測，有其精度限制，因此本計畫以水下載具進行多音速測深研究的目標相當明確。但報告第三頁則又敘述本研究成果可應用於瑚礁、環礁或港灣水下結構物之測量，而計畫的現地試驗也選在水深 15cm 處之海域進行。建議計畫目標的撰寫應前後一致，才不會失焦，目前的應用研究似乎以較淺水深為主。</p> <p>2. 第六章的現場測試成果為本年度計畫之重點，但實驗結果之照片或影像均不夠清晰，難以判讀。且與</p>	<p>1. 感謝委員意見。本計劃在一開始之目的就是希望能改善多音束測深之解析度會隨深度而變差，因此，將整套測深系統置於水下載台上，此種方式除了可在深海測深(如沉船搜尋)有效提高解析度之外，對於淺水域之微地形測量(如珊瑚礁或港灣水下結構物)也很有幫助，受限於本校 MBES 儀器電纜之長度，今年度之實驗僅能以淺水域為主，若移至深海實驗，載台入水所帶來的解析度之改善並無法顯現出來，故實驗區域選擇水深在 15m 左右，若有適當之儀器設備，整套實驗方式應可用於深海之測量。</p> <p>2. 感謝委員指正，遵照委員意見於期末修訂表 6.3 比較兩套系統之優劣。</p>	<p>符合規範要求。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
<p>傳統測量結果之比較，應加強定量之分析，以更明確表達本研究之成果或貢獻。例如，第一點結論主要定性描述統一不同資料來源的時間可提高精度，應更精準的比分析，統一不同資料來源的時間對精度的改善程度。而第二點結論僅說明以載台進行多音速測深，可提高足印解析度，但更重要的是要依水平定位與垂直深度來探討分析本研究成果與傳統測量之優劣，釐清本研究之整體解析度是否比傳統測量方式為佳。</p> <p>3. 目前載台為無動力，隨海流漂動，但也衍生出誤差。不知現在試驗時之流速約多大？水下儀器有包括 DVL，可否用其校正流速之影響？在執行現地試驗時，是否曾考慮以漁船拖行載台？下一個年度的計畫，對於現有載台缺點，有何改善對策？</p>	<p>3. 遵照委員意見於期末進行說明。</p>	<p>已依照委員意見辦理。</p>
<p><b>江文山組長：</b></p> <p>1. 計畫成果符合預期對定位精確度與微地形測量有明顯改善。</p> <p>2. 目前載具無動力，因此實務應用上尚待改善，建議後續針對此部份研究改善</p>	<p>1. 謝謝委員肯定。</p> <p>2. 感謝委員意見，明年度會將今年之實驗結果列入實驗設計當中。</p>	<p>符合規範要求。</p> <p>符合規範要求。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
<p>方案，以提高實務應用價值。</p> <p>3. 中英文摘要中補述今年成果。</p> <p>4. P.1-7 預期成果第一點與本實用係不明確。</p> <p>5. 建議後續研究可考量從體整合著手。</p> <p>6. 報告中語句"預計..."，應修改為完成式。</p> <p>7. P3-3 章節說明不符報告內容。</p> <p>8. 報告中單位"公尺"、"米"、"m"，應統一。</p> <p>9. 圖的清晰度改善。</p>	<p>3. 遵照委員意見於期末定稿增加敘述。</p> <p>4. 遵照委員意見於期末定稿修正。</p> <p>5. 感謝委員意見。</p> <p>6. 遵照委員意見於期末定稿修正。</p> <p>7. 遵照委員意見於期末定稿修正。</p> <p>8. 遵照委員意見於期末定稿修正。</p> <p>9. 遵照委員意見於期末定稿修正。</p>	<p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>符合規範要求。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p>
<p><b>何良勝科長：</b></p> <p>1. 摘要，參考文獻等作部份修正。</p> <p>2. 報告各章節名稱，建議作部份修正。</p> <p>3. 簡報內容與報告內容不符處，請修正。</p>	<p>1. 遵照委員意見於期末定稿辦理修正事項。</p> <p>2. 遵照委員意見於期末定稿修正第二與第六章名稱。</p> <p>3. 遵照委員意見於期末定稿修正。</p>	<p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p> <p>已依照委員意見辦理。</p>
<p><b>曾相茂研究員：</b></p> <p>1. 本案已經過三年的研究，試驗與探討，其成果已具有實用價值，且進度已達到本計畫之需求是值得肯定，且報告相當嚴謹。</p>	<p>1. 謝謝委員肯定。</p>	<p>符合規範要求。</p>

## 附錄三 期中簡報資料

**交通部運輸研究所**

**以水下自動化載具進行多音束測深  
之研究 (3/4)**

**期中簡報**

計畫主持人暨簡報者：薛憲文副教授  
協同主持人：陳陽益教授、李忠潘教授、  
王兆璋副教授、陳信宏副教授

國立中山大學  
中華民國100年7月12日



1

**簡報內容**

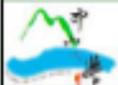
- 一、前言
- 二、研究內容及工作項目
- 三、各感測器同步
- 四、水下載台的設計
- 五、期中結論及未來工作



2

## 一、前言(1)

- 多音束測深系統的解析度與測量之水深成反比，測量水深越深，音束的足印越大，測量解析度也就越差。
- 進一步提升測量解析度及縮小足印的方法，唯有縮短音鼓至目標的距離，也就是將多音束音鼓安裝至水下載具。



3

## 一、前言(2)

- 本案為四年計畫之第三年，由第一及第二年的研究結果顯示，使用超短基線定位系統與水下載具來輔助多音束測深作業，只要定位感測器與姿態感測器之間的對準偏差可以精確校正，便可提升水下目標物的定位精度。
- 若要得到更高品質、更高精度的測深資料，仍以長基線定位系統為佳。

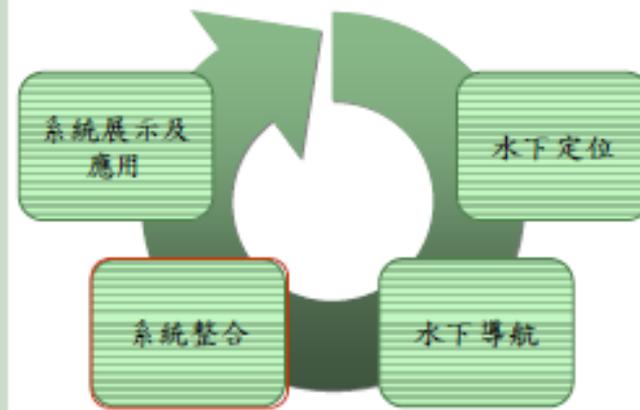


4

## 一、研究內容及工作項目(1)

四年工作計畫流程圖

以水下自動化載具進行多音束測深系統之研究



5

## 二、研究內容及工作項目(2)

四年工作計畫內容

第一年	進行多音束探討超短基線之水下定位系統的精度，探討多音束測深系統測量水下載具三維坐標之精度，開發水下定位系統介面之研究。
第二年	以提升水面及水下精度為主軸，探討長基線系統之水下定位精度技術及衛星即時動態定位(RTK)與後期處理(Post-Processing)模式應用在多音束測深系統之精度，另外配合長基線水下定位系統開發導航介面。
第三年	以多音束測深資料之整合技術之研發為主軸，探討水下多音束測深系統各感測器資料之同步收集、水下多音束測深之資料處理技術，及船隻與水下載具之多音束測深的多重解析度資料之整合技術之研發。
第四年	以多重解析度資料2D及3D之展示技術之研發為主軸，探討多音束測深資料與側掃聲納資料之整合等相關的技術研究，及船隻與水下載具之多音束測深成果整合的應用。



## 二、研究內容及工作項目(3)

本年度工作項目

A

水下多音束測深系統各感測器資料同步收集之探討。

B

水下多音束測深資料處理技術之探討。

C

多音束測深的多重解析度資料之整合技術研究。



## 三、各感測器同步(1)

利用時間為基準做系統整合研究

- 本年度擬以時間為基準，整合各感測器之資料。
- 多音束測深屬於高精度之量測系統，時間不同步會影響水深測量之精確度，因此本年度將針對時間不同步所造成的影響作一探討，並討論以GPS之1PPS作為增加時間精度的方式，來修正時間所帶來的誤差。
- 水深測量各感測器中只有GPS訊號中包含時間序列，目前商用海測軟體的記錄方式是將每筆進入電腦資料由軟體給定時間標籤(tag)，給定時間的模式有兩種，一種是紀錄電腦本身的當地時間，另一種方式則將軟體的時間與GPS輸出之UTC (Coordinated Universal Time)時間同步，再給定時間標籤。



8

### 三、各感測器同步(2)

#### UTC時間與GPS時間

➤ UTC也就是 Coordinated Universal Time (協調世界時)是利用『原子震盪週期』來計算時間的物理時鐘(Atomic Clock, 也被稱為原子鐘)為基準所定義出來的正確時間。

➤ 由於地球的旋轉速度並非定值，UTC的時間必須做調整才能與國際原子時(TAI)同步，由1958年累計到現在，總共發佈了36次閏秒調整皆為正閏秒。

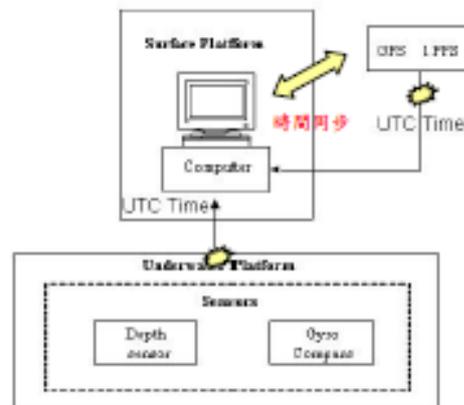
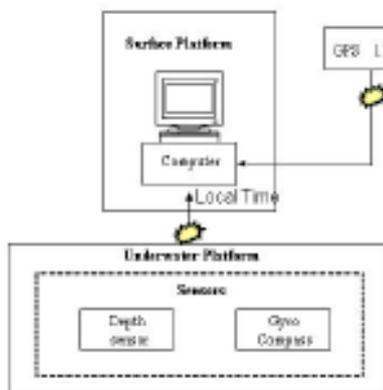
➤ GPS所接收之時間為地面追蹤站與衛星上面的原子鐘的時間，GPS時於1980年與UTC時間同步，之後便無調整，因此目前GPS時間比UTC時間快15秒。

年	6月30日 23:59:60	12月31日 23:59:60	年	6月30日 23:59:60	12月31日 23:59:60
1972年	+1s	+1s	1987年		+1s
1973年		+1s	1988年		+1s
1974年		+1s	1989年		+1s
1975年		+1s	1990年		+1s
1976年		+1s	1991年		+1s
1977年		+1s	1992年		+1s
1978年		+1s	1993年		+1s
1979年		+1s	1994年		+1s
1980年		+1s	1995年		+1s
1981年		+1s	1996年		+1s
1982年		+1s	1997年		+1s
1983年		+1s	1998年		+1s
1984年		+1s	1999年		+1s
1985年		+1s	2000年		+1s
			2001年		+1s
			2002年		+1s
			2003年		+1s
			2004年		+1s
			2005年		+1s
			2006年		+1s
			2007年		+1s
			2008年		+1s
			2009年		+1s
			2010年		+1s
			2011年		+1s
			2012年		+1s
			2013年		+1s
			2014年		+1s
			2015年		+1s



### 三、各感測器同步(3)

#### 資料進入電腦時間記錄流程



### 三、各感測器同步(4)

#### 以單音束測深為例

- 由原始資料可以看出各感測器記錄的時間與間隔並不相同，在做資料合併時須有一參考基準。目前的作法是以水深資料為主，比對定位與湧浪補償器上下起伏資料之時間，以線性內差的方式求得同時間點的資料，再將這些資料整合起來。

```

40444.37687061 -0.00, 0.00, 0.00,
40444.37689011 -0.00, 0.00, 0.00,
40444.37689047 -0.00, 0.00, 0.00,
40444.37689121 -0.00, 0.00, 0.00,
40444.37689194 -0.00, 0.00, 0.00,
40444.37689240 -0.00, 0.00, 0.00,
40444.37689322 -0.00, 0.00, 0.00,
40444.37689351 -0.00, 0.00, 0.00,
40444.37689429 -0.00, 0.00, 0.00,
40444.37689497 -0.00, 0.00, 0.00,
40444.37689577 -0.00, 0.00, 0.00,
40444.37689651 -0.00, 0.00, 0.00,
40444.37689722 -0.00, 0.00, 0.00,
40444.37689771 -0.04, 0.00, 0.00,
    
```

Heave 資料

```

40444.37687041 4.42, 1480006.42 =
40444.37688013 4.42, 1480006.42 =
40444.37688047 4.42, 1480006.42 =
40444.37688174 4.42, 1480006.42 =
40444.37688261 4.42, 1480006.42 =
40444.37688359 4.42, 1480006.42 =
40444.37688411 4.42, 1480006.42 =
40444.37688577 4.42, 1480006.42 =
40444.37688681 4.42, 1480006.42 =
40444.37688729 4.42, 1480006.42 =
40444.37688771 4.42, 1480006.42 =
40444.37688804 4.42, 1480006.42 =
40444.37688894 4.42, 1480006.42 =
40444.37688989 4.42, 1480006.42 =
40444.37689114 4.42, 1480006.42 =
    
```

單音束資料

```

40444.37689199 1390, 59
40444.37689275 1760949, 700, 240 290, 219, 7.181, **, 0, 10900A,
109770, 70, 8, 7, ..., 000, 14, 0, 000, 13, 8, 8*70
10920A, 050248, 01, 01, 00, 2011, 00, 00*90
40444.37689218 1760949, 774, 240 290, 219, 7.181, **, 0, 10900A,
109770, 70, 8, 7, ..., 000, 19, 0, 000, 13, 8, 8*71
10920A, 050248, 01, 01, 00, 2011, 00, 00*90
40444.37689184 1760949, 797, 240 290, 219, 7.180, **, 0, 10900A,
109770, 70, 8, 7, ..., 000, 13, 0, 000, 13, 8, 8*90
40444.37689151 1760949, 800, 240 290, 219, 7.181, **, 0, 10900A,
109770, 70, 8, 7, ..., 000, 04, 0, 000, 13, 8, 8*90
40444.37689177 1760949, 801, 240 290, 219, 7.181, **, 0, 10900A,
109770, 70, 8, 7, ..., 000, 08, 0, 000, 09, 8, 8*77
10920A, 050248, 01, 01, 00, 2011, 00, 00*90
40444.37689189 1760949, 816, 240 290, 214, 7.181, **, 0, 10900A,
109770, 70, 8, 7, ..., 000, 07, 0, 000, 13, 8, 8*77
10920A, 050248, 01, 01, 00, 2011, 00, 00*97
40444.37689112 1760949, 850, 240 290, 212, 7.141, **, 0, 10900A,
109770, 70, 8, 7, ..., 000, 10, 0, 000, 13, 8, 8*90
    
```

GPS資料



### 三、各感測器同步(5)

#### 水下定位系統之時間同步

- 根據第二年計畫研究結果得知，長基線定位誤差的主要來源在於無法連續收到應答器的詢答回訊，但是透過融合速度感測資料便可大幅改善其定位誤差。
- 本年度計畫利用都卜勒速度儀(Doppler Velocity Log; DVL)來量測水下載台運動速度，透過整合速度與長基線斜距量測資料來預估收發器位置，以改善長基線定位誤差。

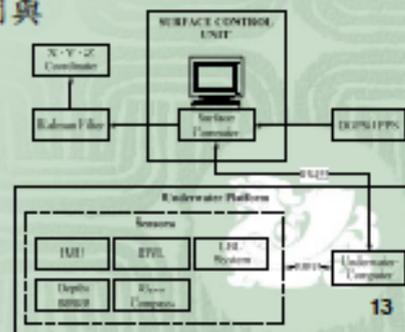


### 三、各感測器同步(6)

#### 水下定位系統之時間同步

➤ 水下定位系統之通訊流程如下圖所示，其中水下電腦控制各感測器與接收感測資料。水面電腦傳送控制命令至水下電腦，同時也負責接收水下電腦上傳之感測資料。

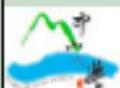
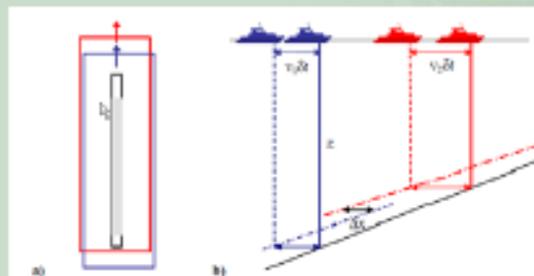
➤ 本研究利用水面電腦接收GPS之1 PPS以取得GPS的時間標籤訊息，並透過後處理來進行電腦時間與UTC時間轉換，使各感測資料的時間皆以UTC時間為共同的參考基準。



### 三、各感測器同步(7)

#### 時間差異所造成的影響

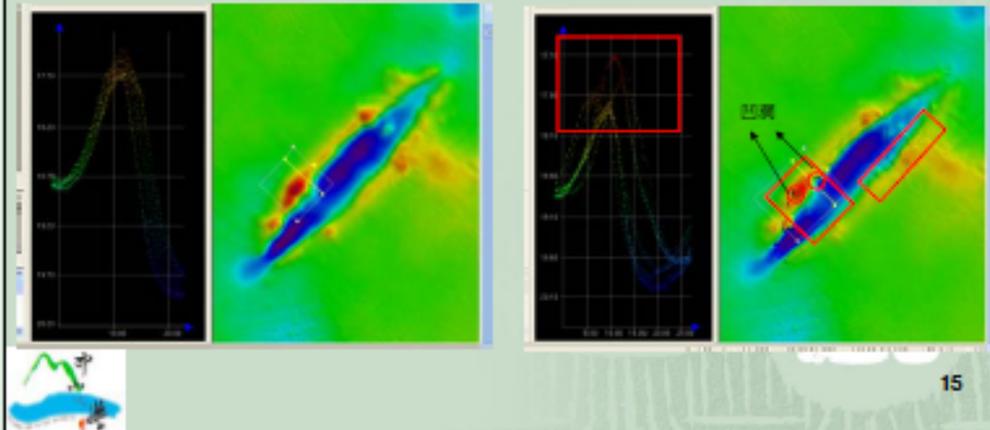
➤ 以GPS定位為例，假設測量船速為8節，即每一秒移動距離為4公尺，若時間誤差為0.1秒，位置差距即為40公分，圖中藍色船為正確時間所移動的位置，紅色船則為時間誤差所移動的位置，若是針對特徵物的搜尋(如人工魚礁、消波塊、沉船、海底電纜等)，則特徵物影像無法完全重疊。



### 三、各感測器同步(8)

#### 時間差異所造成的影響

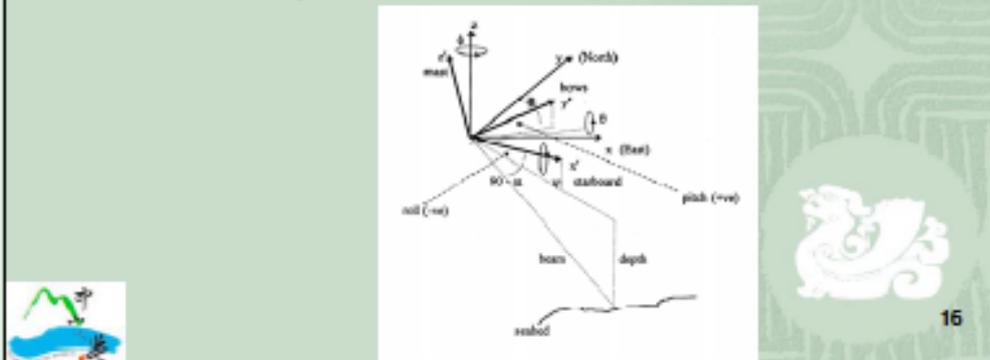
- 下圖左為海床上正確之影像疊合之船型凹洞圖，圖右則是模擬GPS時間延遲一秒所得到之結果。



### 三、各感測器同步(9)

#### 時間差異所造成的影響

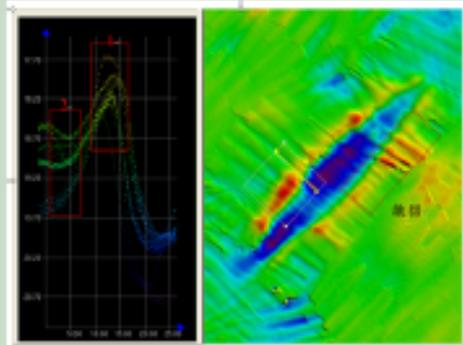
- 若以船隻姿態收集儀為例來討論時間延遲所造成的差異，船隻姿態收集器共有互相垂直之三軸，每一軸同時具備有一個線性加速器(linear accelerometer) 及一個角度變化感測器 (angular rate sensor)，利用船隻姿態收集儀所記錄的三軸運動可以將船隻受風、浪、流的影響修正回來。



### 三、各感測器同步(10)

#### 時間差異所造成的影響

- 下圖為假設船隻姿態儀與測深系統存在一時間延遲，由圖中可以發現由於船隻姿態收集儀所記錄的時間點與實際發生的時間有一落差，造成角度修正錯誤，反而使誤差被放大，讓特徵物產生扭曲變形，在船型凹洞的邊緣皺摺的現象非常明顯。



17

### 三、各感測器同步(11)

#### 時間差異所造成的影響

- 前面所假設的時間誤差是以秒為單位，但在實際的測量案例中，時間誤差的尺度不會到這麼大，一般是以毫秒為單位，因此，一般在資料的整合上會增加一個外部時間控制，才能達到高精度的測量結果，目前的作法是以GPS之1PPS做為時間控制的訊號。



18

### 三、各感測器同步(12)

#### GPS之 1PPS 的應用

- 1PPS(one pulse per second)中文意思為每秒鐘一個拍發，是一種以電子訊號來精確的標示出每一秒開始的時間點，目前新版的GPS皆可輸出這種訊號，以提供我們一種極精確的時間校正工具。
- 1PPS只是一個類似電子脈衝的訊號，本身並無時間序列，其輸出的流程如下圖所示，首先由GPS輸出包含UTC時間之訊號(如GGA、ZDA等)以及1PPS電子訊號，進入一外部裝置之後，再將這兩種訊號合併起來，輸入電腦。

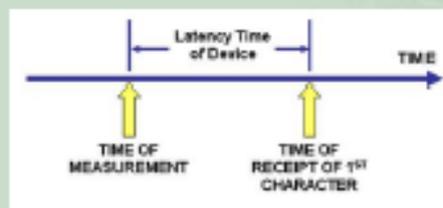


19

### 三、各感測器同步(13)

#### GPS之 1PPS 的應用

- 一般來說，資料由儀器接收之後進入電腦裡再被記錄起來，這中間會存在一個時間落差，如下圖所示，1PPS主要目的就是在於消除這個時間誤差，而在本計劃中擬用來作為各感測器時間同步的基準。

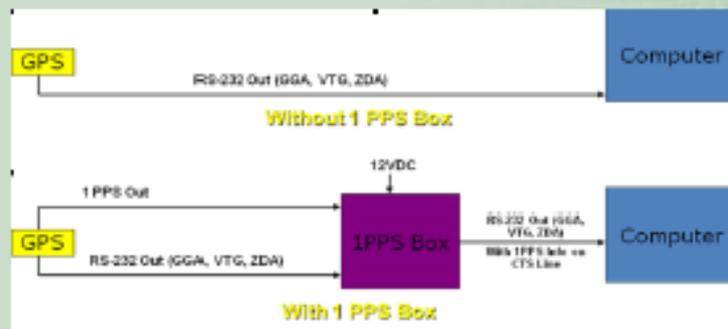


20

### 三、各感測器同步(14)

#### GPS之 1PPS 的應用

- 下圖為 1PPS 輸入之流程圖，上半部為無 1PPS 裝置的情形下，電腦記錄資料的時間為 GPS 資料第一個字元進入電腦的時間，下半部為設有 1PPS 裝置，電腦記錄資料的時間為 1PPS 脈衝發生的時間。



21

### 三、各感測器同步(15)

#### GPS之 1PPS 的應用

- 下圖為比較 ZDA 與 ZDA+1PPS 對於時間的穩定度，上圖為 ZDA 時間訊號，大約會有正負 10 毫秒的誤差，但若將時間資料加上 1PPS 訊號之後，其時間不規則的誤差明顯的收斂。



22

### 三、各感測器同步(16)

#### GPS之1PPS的應用

- 本章節針對不同來源的時間所存在的差值(如GPS時間與UTC時間的差值)，以及時間精度所帶來的誤差效應作一探討，也看到1PPS對時間精度所帶來的提升，這些探討對於本年度的系統整合提供了很好的背景資訊。



23

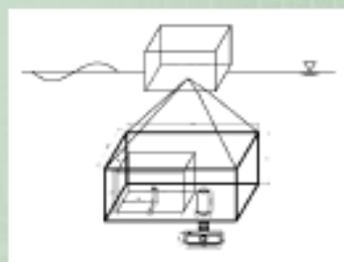
### 四、水下載台設計(1)

#### 水下載台設計

- 本年度要將整合多音束測深系統及水下定位系統放入水中進行實測，載台的設計也是本年度計畫的重點。

- 水下載台設計考量因子：

- (一) 水下載台平衡性
- (二) 儀器安裝之可行性
- (三) 水下載台施放便利性



載台施放示意圖



24

## 四、水下載台設計(2)

### 水下載台平衡性

- 本計劃中水下載台本身並無動力，因此，載台在水中的平衡格外的重要。
- 考慮載台的配重，第一步要先知道各感測器於水中的重量，下表為各感測器之乾濕重。
- 為配合漁船絞機施放，整體重量以不超過200 Kg為原則。

儀器	空氣中重量(Kg)	水中重量(Kg)
水下定位系統	71	14
多音束音鼓	35	22
相變姿態收集儀	9	2
總重	115	38



25

## 四、水下載台設計(3)

### 儀器安裝之可行性

- 載台除了水中平衡之外，另外需要考慮的因素為各感測器之間是否會相互干擾，整個系統中對地發射訊號的儀器有水下定位系統中的DVL與多音束測深，兩者的音波頻率分別為600Khz(DVL)與455Khz(Multibeam)，由於兩者的頻率相近，在儀器的配置上盡量增加兩者的距離。

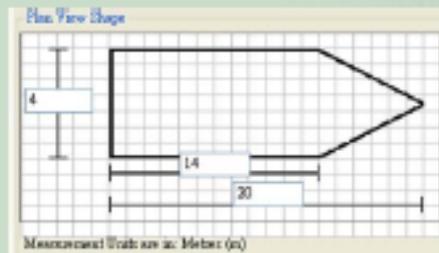


26

## 四、水下載台設計(4)

### 水下載台施放之便利性

- 整個實驗使用的作業船隻為CT3漁船，尺寸規格如下圖所示，作業空間為前方甲板，載台最大長度應不得超過4米。

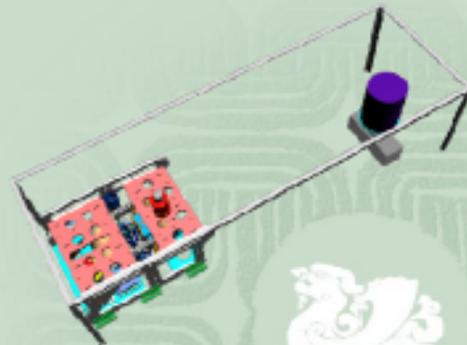


27

## 四、水下載台設計(5)

### 水下載台規格

- 水下載台的尺寸為300cm\*69cm\*80cm，將兩套系統分別安裝於載台的兩端，載台的材質為不鏽鋼，整個重量約50Kg，載台設計圖如下圖所示。



28

## 四、水下載台設計(6)

### 水下載台規格

- 載台完工照片。



29

## 五、期中結論及未來工作

### 期中結論

- (一) 定位、船隻姿態及水深資料，在這三者間若存在時間不同步，對於水深資料品質皆會產生很大的影響。
- (二) 時間不同步的原因除了電腦紀錄時所產生的誤差之外，來源不同的時間彼此之間也會存在時間差(如GPS時間與UTC時間存在潤秒)。
- (三) 時間基準以GPS之ZDA格式搭配1PPS訊號，可有效提高時間的精度，使得各種感測器之資料能夠同步。
- (四) 完成載台之設計與實作。



30

## 五、期中結論及未來工作

### 工作進度說明

工作項目	預定進度	實際進度
水下載台設計製作測試	100%	100%
水下多音束測深系統各感測器資料同步收集之探討	50%	100%
水下多音束測深資料處理技術之探討	50%	50%
撰寫期中報告	100%	100%
多音束測深的多重解析度資料之整合技術研究	15%	15%
撰寫期末報告	0%	0%



31

## 五、期中結論及未來工作

### 未來工作

- (一)透過卡曼濾波整合長基線定位系統與DVL，以提供水下多音束測深儀定位資料。
- (二)進行將出海實測作業，將水下多音束測深結果與水面上多音束測深結果做一比較，藉以了解測深之解析度是否有提升。
- (三)擬尋找測量兩種測深系統共同之特徵物，將水下多音束測深系統之坐標，由水上多音束測深系統來率定，期望能達到較高之平面定位精度，且能獲得較高解析度之水深測量結果。



32

## 附錄四 期末簡報資料

交通部運輸研究所

以水下自動化載具進行多音束測深  
之研究 (3/4)

期末簡報

簡報人：薛憲文 副教授

國立中山大學  
中華民國100年11月15日



1

簡報內容

- 一、前言
- 二、研究內容及工作項目
- 三、各感測器同步
- 四、水下載台的設計
- 五、實驗、結果與討論
- 六、結論與未來研究方向



2

## 一、前言(1)

- 多音束測深系統的解析度與測量之水深成反比，測量水深越深，音束的足印越大，測量解析度也就越差。
- 進一步提升測量解析度及縮小足印的方法，唯有縮短音鼓至目標的距離，也就是將多音束音鼓安裝至水下載具。



3

## 一、前言(2)

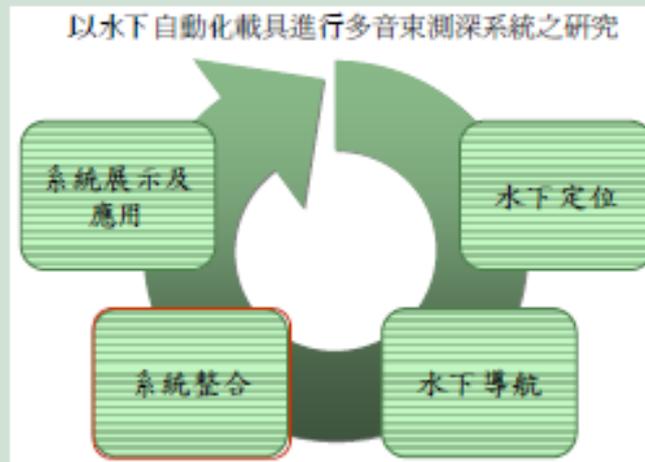
- 本案為四年計畫之第三年，由第一及第二年的研究結果顯示，使用超短基線定位系統與水下載具來輔助多音束測深作業，只要定位感測器與姿態感測器之間的對準偏差可以精確校正，便可提升水下目標物的定位精度。
- 若要得到更高品質、更高精度的測深資料，仍以長基線定位系統為佳。



4

## 一、研究內容及工作項目(1)

四年工作計畫流程圖



5

## 二、研究內容及工作項目(2)

四年工作計畫內容

第一年	進行多音束探討超短基線之水下定位系統的精度，探討多音束測深系統測量水下載具三維坐標之精度，開發水下定位系統介面之研究。
第二年	以提升水面及水下精度為主軸，探討長基線系統之水下定位精度技術及衛星即時動態定位(RTK)與後期處理(Post-Processing)模式應用在多音束測深系統之精度，另外配合長基線水下定位系統開發導航介面。
第三年	以多音束測深資料之整合技術之研發為主軸，探討水下多音束測深系統各感測器資料之同步收集、水下多音束測深之資料處理技術，及船隻與水下載具之多音束測深的多重解析度資料之整合技術之研發。
第四年	以多重解析度資料2D及3D之展示技術之研發為主軸，探討多音束測深資料與側掃聲納資料之整合等相關的技術研究，及船隻與水下載具之多音束測深成果整合的應用。

## 二、研究內容及工作項目(3)

本年度工作項目

A

水下多音束測深系統各感測器資料同步收集之探討。

B

水下多音束測深資料處理技術之探討。

C

多音束測深的多重解析度資料之整合技術研究。



## 三、各感測器同步(1)

利用時間為基準做系統整合研究

- 本年度擬以時間為基準，整合各感測器之資料。
- 多音束測深屬於高精度之量測系統，時間不同步會影響水深測量之精確度，因此本年度將針對時間不同步所造成的影響作一探討，並討論以GPS之1PPS作為增加時間精度的方式，來修正時間所帶來的誤差。
- 水深測量各感測器中只有GPS訊號中包含時間序列，目前商用海測軟體的記錄方式是將每筆進入電腦資料由軟體給定時間標籤(tag)，給定時間的模式有兩種，一種是紀錄電腦本身的當地時間，另一種方式則將軟體的時間與GPS輸出之UTC (Coordinated Universal Time)時間同步，再給定時間標籤。



8

### 三、各感測器同步(2)

#### UTC時間與GPS時間

➤ UTC也就是 Coordinated Universal Time (協調世界時)是利用『原子震盪週期』來計算時間的物理時鐘(Atomic Clock, 也被稱為原子鐘)為基準所定義出來的正確時間。

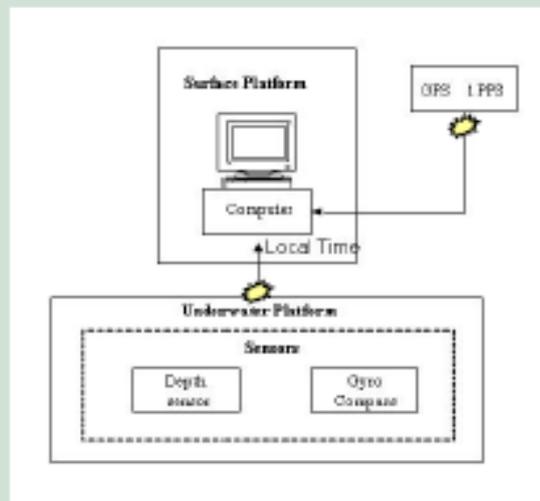
➤ 由於地球的旋轉速度並非定值，UTC的時間必須隨著地球的旋轉速度做調整才能與國際原子時 (TAI) 同步，由1958年累計到現在，總共發佈了36次閏秒調整皆為正閏秒。

年	6月30日	12月31日	年	6月30日	12月31日
	23:59:60	23:59:60		23:59:60	23:59:60
1972年	+1s	+1s	1987年		+1s
1973年		+1s	1989年		+1s
1974年		+1s	1990年		+1s
1975年		+1s	1992年	+1s	
1976年		+1s	1993年	+1s	
1977年		+1s	1994年	+1s	
1978年		+1s	1995年		+1s
1979年		+1s	1997年	+1s	
1981年	+1s		1999年		+1s
1982年	+1s		2000年		+1s
1983年	+1s		2003年		+1s
1985年	+1s				



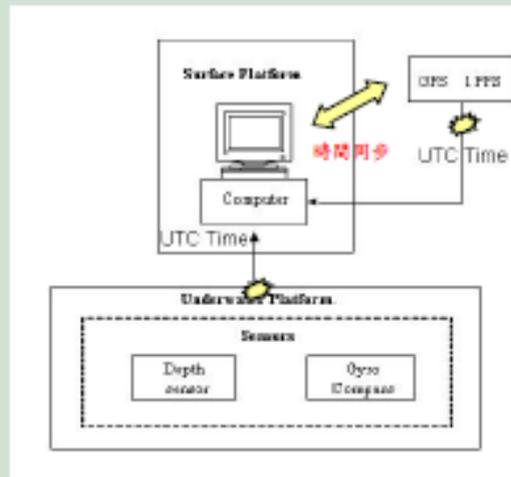
### 三、各感測器同步(3)

#### 當地時間



### 三、各感測器同步(4)

UTC時間



### 三、各感測器同步(5)

以單音束測深為例

由原始資料可以看出各感測器記錄的時間與間隔並不相同，在做資料合併時須有一參考基準。目前的作法是以水深資料為主，比對定位與湧浪補償器上下起伏資料之時間，以線性內差的方式求得同時間點的資料，再將這些資料整合起來。

```

40444.37407948 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37408013 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37408077 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37408142 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37408206 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37408271 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37408335 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37408400 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37408464 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37408529 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37408593 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37408658 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37408722 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37408787 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37408851 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37408916 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37408980 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37409045 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37409109 -0.01, 0.00, 0.00,
40444.37409174 -0.01, 0.00, 0.00,
    
```

Heave 資料

```

40444.37407941 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37408011 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37408077 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37408147 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37408212 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37408279 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37408347 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37408414 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37408481 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37408548 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37408615 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37408682 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37408749 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37408817 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37408884 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37408951 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37409018 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37409085 0.41, 0.000000, 41.00
40444.37409152 0.41, 0.000000, 41.00
    
```

單音束資料

```

40444.37409199 1580.00
40444.37409207 147490.00, 170.042230, 120, 7.244, **, 0, 00P00A,
ICPFTC, 76, 4, 7, **, 080, 14, 0, 080, 13, 0, 0770
ICP2DA, 020251, 02, 01, 00, 1211, 00, 00714
40444.37409222 1749040.774, 141280.124, 7.240, **, 0, 00P00A,
ICPFTC, 76, 4, 7, **, 080, 14, 0, 080, 13, 0, 0770
ICP2DA, 020258, 02, 01, 00, 1211, 00, 00714
40444.37409246 1749040.800, 141280.124, 7.240, **, 0, 00P00A,
ICPFTC, 76, 4, 7, **, 080, 14, 0, 080, 13, 0, 0770
ICP2DA, 020259, 02, 01, 00, 1211, 00, 00714
40444.37409270 1749040.824, 141280.124, 7.240, **, 0, 00P00A,
ICPFTC, 76, 4, 7, **, 080, 14, 0, 080, 13, 0, 0770
ICP2DA, 020260, 02, 01, 00, 1211, 00, 00714
40444.37409294 1749040.848, 141280.124, 7.240, **, 0, 00P00A,
ICPFTC, 76, 4, 7, **, 080, 14, 0, 080, 13, 0, 0770
ICP2DA, 020261, 02, 01, 00, 1211, 00, 00714
40444.37409318 1749040.872, 141280.124, 7.240, **, 0, 00P00A,
ICPFTC, 76, 4, 7, **, 080, 14, 0, 080, 13, 0, 0770
ICP2DA, 020262, 02, 01, 00, 1211, 00, 00714
    
```

GPS資料



### 三、各感測器同步(6)

#### 水下定位系統之時間同步

- 根據第二年計畫研究結果得知，長基線定位誤差的主要來源在於無法連續收到應答器的詢答回訊，但是透過融合速度感測資料便可大幅改善其定位誤差。
- 本年度計畫利用都卜勒速度儀(Doppler Velocity Log; DVL)來量測水下載台運動速度，透過整合速度與長基線斜距量測資料來預估收發器位置，以改善長基線定位誤差。

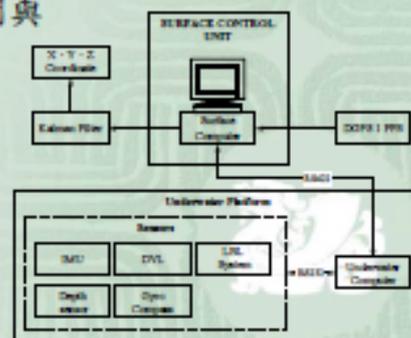


13

### 三、各感測器同步(7)

#### 水下定位系統之時間同步

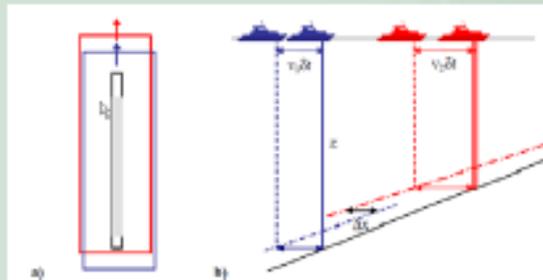
- 水下定位系統之通訊流程如下圖所示，其中水下電腦控制各感測器與接收感測資料。水面電腦傳送控制命令至水下電腦，同時也負責接收水下電腦上傳之感測資料。
- 本研究利用水面電腦接收GPS之1 PPS以取得GPS的時間標籤訊息，並透過後處理來進行電腦時間與GPS時間轉換，使各感測資料的時間皆以GPS時間為共同的參考基準。



### 三、各感測器同步(8)

#### 時間差異所造成的影響

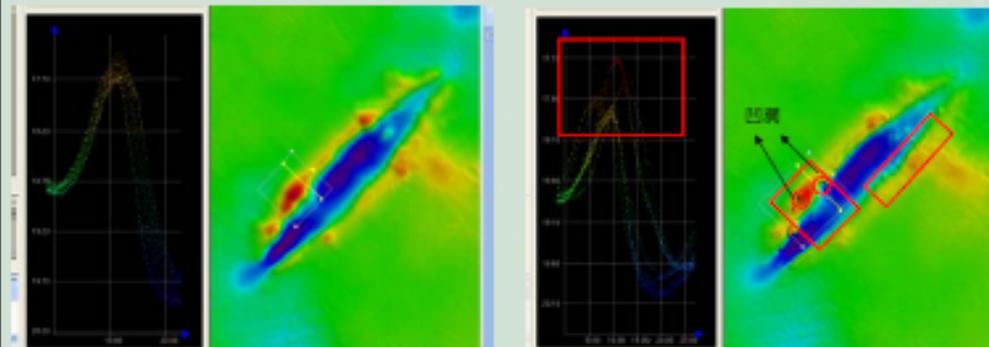
- 以GPS定位為例，假設測量船速為8節，即每一秒移動距離為4公尺，若時間誤差為0.1秒，位置差距即為40公分，圖中藍色船為正確時間所移動的位置，紅色船則為時間誤差所移動的位置。若是針對特徵物的搜尋(如人工魚礁、消波塊、沉船、海底電纜等)，則特徵物影像無法完全重疊。



### 三、各感測器同步(9)

#### 時間差異所造成的影響

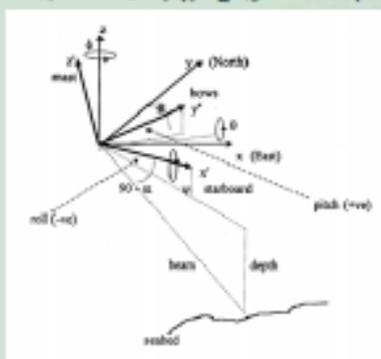
- 下圖左為海床上正確之影像疊合之船型凹洞圖，圖右則是模擬GPS時間延遲一秒所得到之結果。



### 三、各感測器同步(10)

#### 時間差異所造成的影響

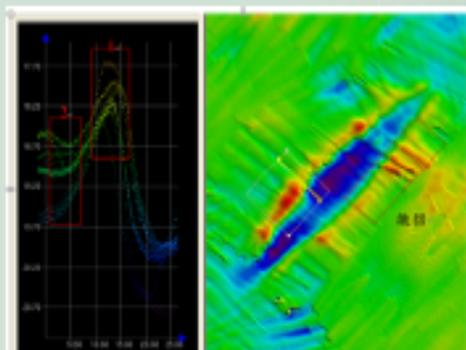
- 若以船隻姿態收集儀為例來討論時間延遲所造成的差異，船隻姿態收集器共有互相垂直之三軸，每一軸同時具備有一個線性加速器(linear accelerometer) 及一個角度變化感測器(angular rate sensor)，利用船隻姿態收集儀所記錄的三軸運動可以將船隻受風、浪、流的影響修正回來。



### 三、各感測器同步(11)

#### 時間差異所造成的影響

- 下圖為假設船隻姿態儀與測深系統存在一時間延遲，由圖中可以發現由於船隻姿態收集儀所記錄的時間點與實際發生的時間有一落差，造成角度修正錯誤，反而使誤差被放大，讓特徵物產生扭曲變形，在船型凹洞的邊緣皺摺的現象非常明顯。



### 三、各感測器同步(12)

#### 時間差異所造成的影響

- 前面所假設的時間誤差是以秒為單位，但在實際的測量案例中，時間誤差的尺度不會到這麼大，一般是以毫秒為單位，因此，一般在資料的整合上會增加一個外部時間控制，才能達到高精度的測量結果，目前的作法是以GPS之1PPS做為時間控制的訊號。



### 三、各感測器同步(13)

#### GPS之1PPS的應用

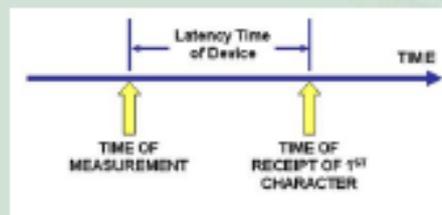
- 1PPS(one pulse per second)中文意思為每秒鐘一個拍發，是一種以電子訊號來精確的標示出每一秒開始的時間點，目前新版的GPS皆可輸出這種訊號，以提供我們一種極精確的時間校正工具。
- 1PPS只是一個類似電子脈衝的訊號，本身並無時間序列，其輸出的流程如下圖所示，首先由GPS輸出包含UTC時間之訊號(如GGA、ZDA等)以及1PPS電子訊號，進入一外部裝置之後，再將這兩種訊號合併起來，輸入電腦。



### 三、各感測器同步(14)

#### GPS之1PPS的應用

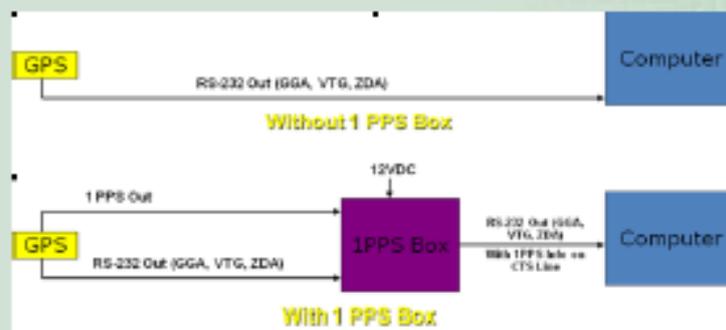
- 一般來說，資料由儀器接收之後進入電腦裡再被記錄起來，這中間會存在一個時間落差，如下圖所示，1PPS主要目的就是在於消除這個時間誤差，而在本計劃中擬用來作為各感測器時間同步的基準。



### 三、各感測器同步(15)

#### GPS之1PPS的應用

- 下圖為1PPS輸入之流程圖，上半部為無1PPS裝置的情形下，電腦記錄資料的時間為GPS資料第一個字元進入電腦的時間，下半部為設有1PPS裝置，電腦記錄資料的時間為1PPS脈衝發生的時間。



### 三、各感測器同步(16)

#### GPS之1PPS的應用

- 下圖為比較ZDA與ZDA+1PPS對於時間的穩定度，上圖為ZDA時間訊號，大約會有正負10毫秒的誤差，但若將時間資料加上1PPS訊號之後，其時間不規則的誤差明顯的收斂。



### 三、各感測器同步(17)

#### GPS之1PPS的應用

- 本章節針對不同來源的時間所存在的差值(如GPS時間與UTC時間的差值)，以及時間精度所帶來的誤差效應作一探討，也看到1PPS對時間精度所帶來的提升，這些探討對於本年度的系統整合提供了很好的背景資訊。



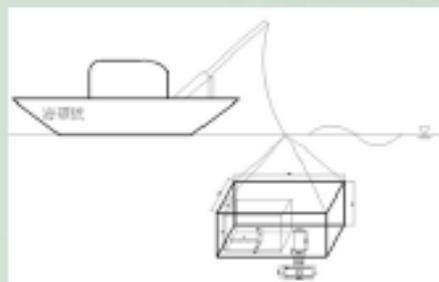
## 四、水下載台設計(1)

### 水下載台設計

➤ 本年度要將整合多音束測深系統及水下定位系統放入水中進行實測，載台的設計也是本年度計畫的重點。

➤ 水下載台設計考量因子：

- (一) 水下載台平衡性
- (二) 儀器安裝之可行性
- (三) 水下載台施放便利性



載台施放示意圖



## 四、水下載台設計(2)

### 水下載台平衡性

➤ 本計劃中水下載台本身並無動力，因此，載台在水中的平衡格外的重要。

➤ 考慮載台的配重，第一步要先知道各感測器於水中的重量，下表為各感測器之乾濕重。

➤ 為配合漁船絞機施放，整體重量以不超過200 Kg為原則。

儀器	空氣中重量(Kg)	水中重量(Kg)
水下定位系統	71	14
多音束音敏	35	22
射量安態收集儀	9	2
總重	115	38



## 四、水下載台設計(3)

### 儀器安裝之可行性

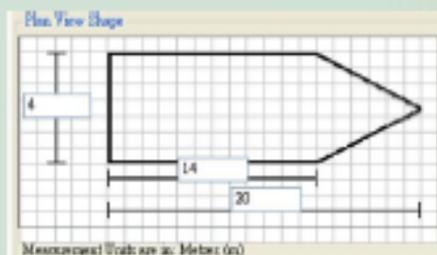
- 載台除了水中平衡之外，另外需要考慮的因素為各感測器之間是否會相互干擾，整個系統中對地發射訊號的儀器有水下定位系統中的DVL與多音束測深，兩者的音波頻率分別為600Khz(DVL)與455Khz(Multibeam)，由於兩者的頻率相近，在儀器的配置上盡量增加兩者的距離。



## 四、水下載台設計(4)

### 水下載台施放之便利性

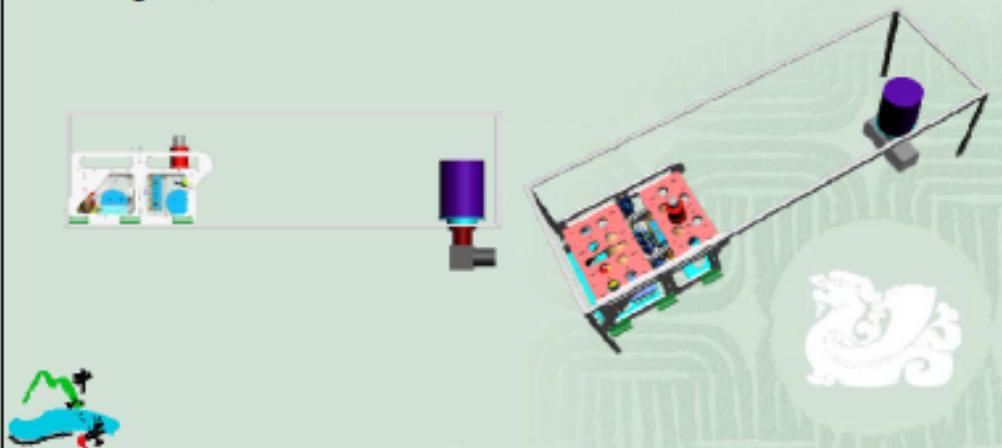
- 整個實驗使用的作業船隻為CT3漁船，尺寸規格如下圖所示，作業空間為前方甲板，載台最大長度應不得超過4米。



## 四、水下載台設計

### 水下載台規格

- 水下載台的尺寸為300cm\*69cm\*80cm，將兩套系統分別安裝於載台的兩端，載台的材質為不鏽鋼，整個重量約50Kg，載台設計圖如下圖所示。



## 四、水下載台設計

### 水下載台規格

- 載台完工照片。



## 五、實驗、結果與討論

### 實驗規劃

- 因儀器電纜的長度有限，載台入水深度只能達到10米。
- 為突顯解析度的差異，實驗的特徵物尺寸不宜過大，同時需要考慮實驗的便利性。
- 為防止海流影響到載台的穩定性，需選擇停潮時間進行實驗。



## 五、實驗、結果與討論

### 實驗規劃

- 下表為本次實驗所使用之儀器精度對照表，受限於儀器電纜的長度，本次實驗場選擇的深度為15米左右，載台入水10米後，解析度可由13.1公分提升至4公分，精度提升約3倍。

水深	$\alpha=0$ 度(正下方)	$\alpha=60$ 度
5	0.044	0.344
10	0.087	0.688
15	0.131	1.032
20	0.175	1.376

單位：公尺



## 五、實驗、結果與討論

### 實驗規劃

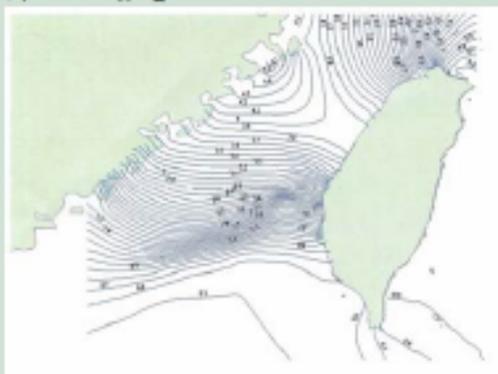
- 考量到解析度的差異，本次實驗的特徵物選擇汽車輪胎，尺寸由13-17吋不等，以十字形狀排列使其有方向性，在十字型的下方三個輪胎使用兩個輪胎來堆疊為方便辨識，輪胎與輪胎之間間隔為一公尺。



## 五、實驗、結果與討論

### 實驗規劃

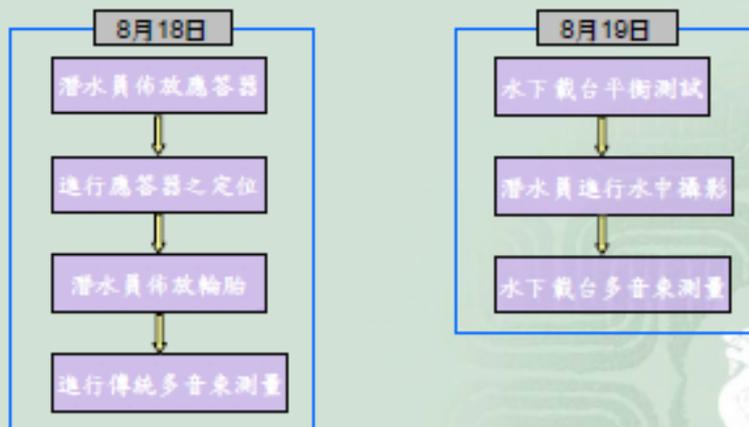
- 考量到不受海流影響，實驗場選擇在高雄西子灣外海，由於高雄附近海域潮差不到一米，實驗時間選擇在停潮的時候，幾乎不受沿岸流之影響。



## 五、實驗、結果與討論

### 實驗流程

- 外業測量於8月18、19兩日完成，各天工作流程如下：



## 五、實驗、結果與討論

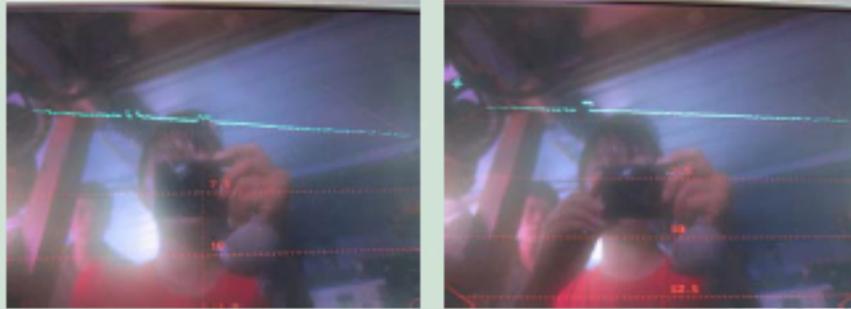
### 現場作業照片



## 五、實驗、結果與討論

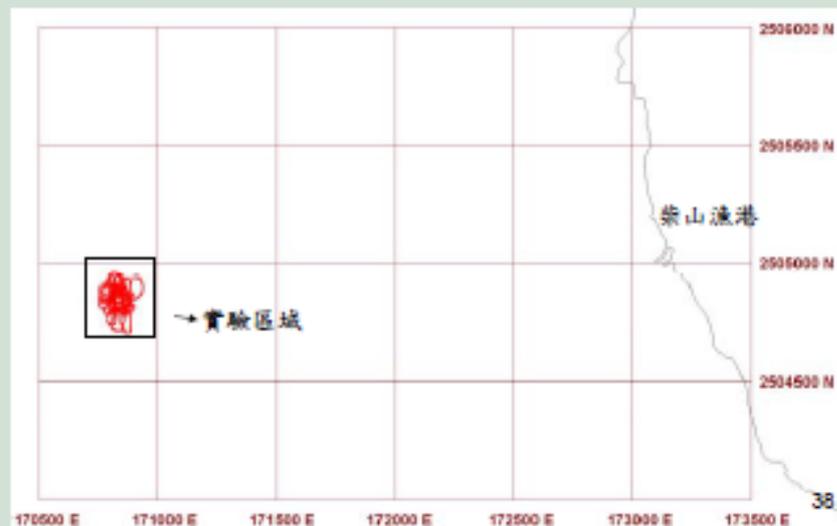
### 現場作業照片

- 於載台多音束測量中，可清楚的看見輪胎的形狀。



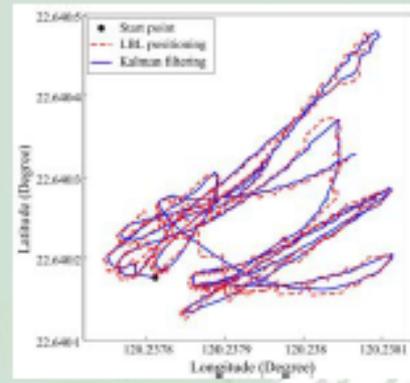
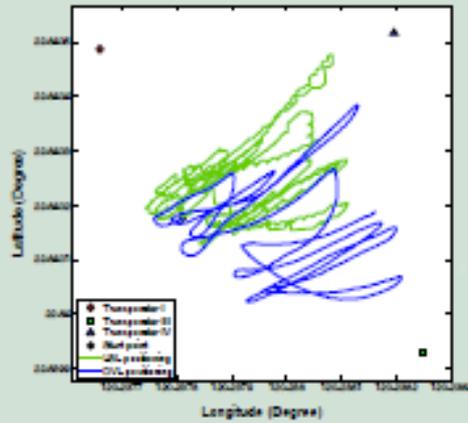
## 五、實驗、結果與討論

### 實驗軌跡圖



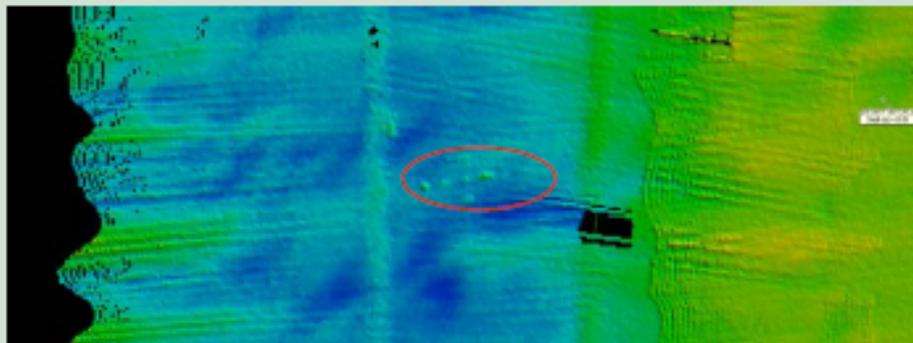
## 五、實驗、結果與討論

### LBL與DVL整合定位結果



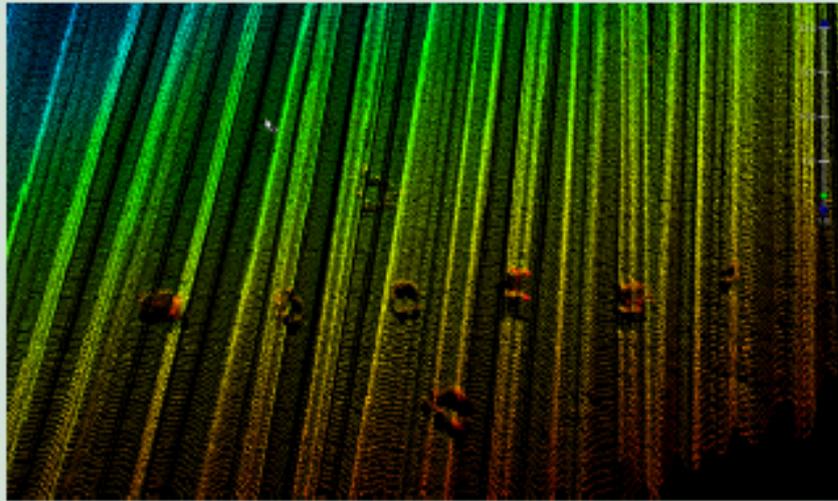
## 五、實驗、結果與討論

### 船定式多音束測量成果



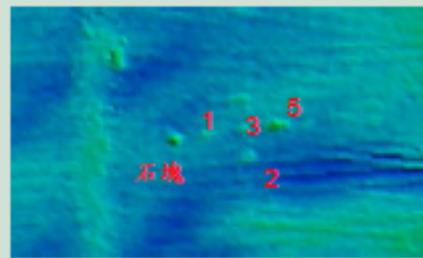
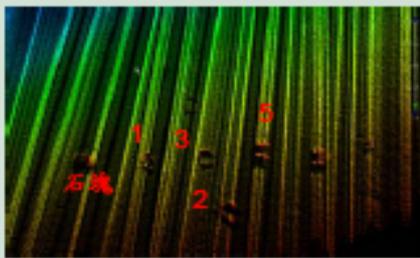
## 五、實驗、結果與討論

水下載台多音束測量成果



## 五、實驗、結果與討論

兩系統定位差值



編號	石塊		1		2		3		5	
	經度	緯度								
水面上多音束	16.59	24.84	16.67	24.86	16.75	24.86	16.73	24.87	16.81	24.86
水面下多音束	16.67	24.84	16.55	24.83	16.63	24.84	16.67	24.77	16.72	24.85
差值(秒)	0.12	0	0.12	0.03	0.12	0.04	0.06	0.10	0.09	0.03



## 五、實驗、結果與討論

### 兩系統定位差值

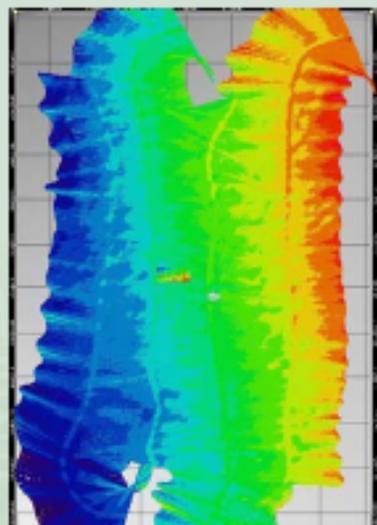
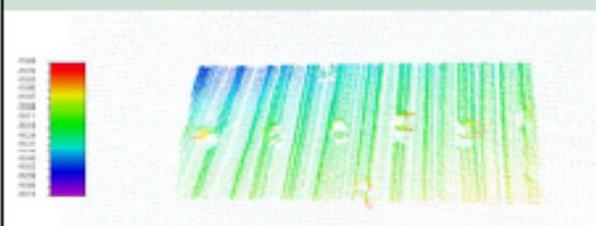
- 比較兩系統之平面座標，南北向差值約為1.8公尺至3.6公尺，東西向差值約0至3公尺，與長基線本身之誤差範圍吻合。
- 期末報告上面的定位差值，由於水面上的GPS時間未修正為UTC時間，南北方向之誤差將近10公尺，將在期末定稿中修正。



## 五、實驗、結果與討論

### 多重解析度之整合

- 利用鑲嵌的方式將水下載具所得到的高解析度特徵物，放入傳統多音束的結果當中。



## 六、結論及未來工作

### 結論

- (一) 時間不同步的原因除了電腦紀錄時所產生的誤差之外，來源不同的時間彼此之間也會存在時間差(如GPS時間與UTC時間存在潤秒)。時間基準以GPS之ZDA格式搭配IPPS訊號，可有效提高時間的精度，使得各種感測器之資料能夠同步。
- (二)實驗證明以水下載台進行多音束測深，確實可以增加測深之解析度，依本次實驗之設計，在離海床5公尺左右，船速在0.5節時的解析度可明顯辨識高於海床15cm的物體，達到提升測深足印解析度之目的。



## 六、結論及未來工作

### 結論

- (三)載台本身無動力所造成的影響，除了產生測深速度不一，水下定位之線性內插會造成局部水平位置誤差外，無往返重疊測線也導致進行載台的疊合修正不易，因此若欲整合水面及水下多音束測深多重解析度資料，尚須克服特徵物由水面及水下多音束測深所產生位置差異之轉換問題。
- (四)本年度整合長基線與都卜勒流速計進行水下載台定位，最大定位誤差約為3公尺左右，但其有效的定位時間間隔約為3秒，若載台本身無穩定之移動船速，則容易造成推估的定位與實際的位置有所差異。



## 六、結論及未來工作

### 未來工作

- 本年度的結果已證實水下載具可有效提升水深測量的解析度，未來若能給載具提供一穩定的動力，或考慮以水面船隻測量及水下載具測深所獲得之特徵物之位置進行2D或3D之空間坐標轉換，應可解決本年度所遭遇多重解析度的問題。



## 附錄五 歷年研究成果

### (一)第一年度(98年)

1.本研究利用超短基線感測器對準偏差校正之演算法，可以有效率地估算出 heading、pitch、roll 三個對準偏差角度，提升超短基線定位系統的定位精度。這個演算法乃是利用船隻航行直線測線來收集海床應答器的定位資料，並根據 heading、pitch、roll 三個角度的對準偏差對於應答器定位的影響，分別推導出各個偏差角度的計算公式。由於此一演算法是依據各個偏差角度造成應答器定位之幾何特性所推導出來的，所以具有非常快速的收斂速度，而且其運算結果也非常穩定與一致。此一演算法也利用實海域量測資料進行驗證，證實此演算法可以在四、五次的迭代運算之後，三個對準偏差角度的估測值便能穩定收斂。此外，本研究也針對偏離航跡誤差發展出一套修正方法，即使利用不具備動態定位系統的船隻來收集超短基線定位資料，也能夠精確估算出超短基線定位系統的對準偏差角度，大大提升了此一演算法的實用性。

2.當採用超短基線系統進行水下目標物定位時，本研究分析不同水深與不同半錐角對定位精度(1)的影響，其結果顯示定位精度隨著水深增加而變差；水深 32 m、76 m、以及 110 m 的最大定位誤差分別在 1m、2.5m、以及 3.5m 左右。此外，隨著半錐角增大，定位精度(1)也跟著變大；在這三種不同水深下，半錐角 30 度以內的定位精度可控制在約 2m 以內。因此，利用超短基線進行水下載具定位時，應盡量將工作母船控制在水下載具正上方附近，可以有效降低定位誤差。

3.當以多音束測深系統測量三個水下定位系統之底碇架之平面位置，再與三個水下定位系統所測量得到之平面位置平均值比較後，發現在平面位置之差異(dN,dE)分別為 0.203m, 0.099m，因此可視為兩者之平面位置約為一致。若考慮潮位修正及三個水下定位系統應答器與兩個相鄰浮桶之水深差異後，發現兩者之高程相差應在 0.1m

以內。在本實驗中亦同時安裝壓力式水位計於第三個水下定位系統應答器下約 0.2m，由表 11 可以發現水位計與水下定位之量測深度相差約 0.10m，而多音束測深與水位計量測之水深差值約為 0.41m，若扣除潮位修正約 0.20m 後，兩者約相差 0.21m，此值已較國際海測組織(IHO)之海測規範(S-44)中在 30m 水深之特等測深精度 0.30m 為高。

4. 在使用超短基線水下定位系統的基礎下，本研究建構之水下載具定位與導航介面，整合了水下載具感測器與外部感測器(GPS、電羅經、運動感測器)，可以即時提供水下載具的位置。此外，具備友善、直覺、互動的 3D 虛擬介面與 2D 圖形顯示介面，也有助於操作員確實掌握水下載具的動態。

## (二) 第二年度(99 年)

1. 定位精度、足印尺寸及疊合測量率定作業是為多音束測深系統精度三項關鍵因子。

2. 定位誤差會被疊合測量率定參數吸收，而率定參數的偏差會將誤差傳播至全部測線。

3. 後期處理(PP)定位模式可獲得較即時差分定位(RTK)高的精度，對於水下管線搜尋探測、水下人工結構物或小型目標的判視為較佳的定位模式。

4. 本研究案例對於水下垂直結構物量測時，會有水平位置偏差量(RTK 1m, PP 0.5m)，其誤差源主要來自定位誤差，但疊合測量之率定參數會吸收其它誤差，引發誤差傳播效應。疊合測量率定參數的原理為以部份測線的率定成果來校正全部的量測成果，其誤差則可能會使誤差擴大。

5. 本研究建構長基線定位系統之水下載具導航介面，整合了水下載具感測器(航向、深度)與外部感測器(GPS、運動感測器)，可即時提供水下載具的方向與位置。此一導航介面具備 3D 虛擬介面與 2D 圖形顯示介面，有助於操作員確實掌握水下載具的動態。

6.水下載具進行多音束測深作業時，必須以一定速度航行，無法固定不動。因此，利用長基線定位系統進行詢答作業時，收發器依序詢答四支答應器的位置不會相同，亦即各支應答器斜距的量測基準點不一樣，以致於進行最小平方位置估算時，會產生誤差。由數值模擬的結果可以看出，收發器詢答間隔時間越長、船速越快（亦即收發器詢答間隔位移量越大），長基線系統的定位誤差便會越大，若需要較準確的定位結果，必須倚賴融合其他外部感測資料，方可降低定位誤差。

7.由實海域測試資料分析結果可以看出，長基線定位誤差的主要來源在於無法連續收到應答器的回訊。本研究透過整合載具速度量測資訊來估算收發器詢答位置，以改善長基線定位精度，並將水下載具定位誤差控制在 1~1.5m 左右。因此，利用長基線系統進行水下載具定位時，應儘量避免聲訊遮蔽以免無法收到應答器回訊，並融合其他感測資訊以降低定位誤差。

## 附錄六 歷年審查意見回覆

### (一) 第一年度(98 年)

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p><b>張順雄教授：</b></p> <p>1. 期中報告委員意見部份應另表回覆修正結果。</p> <p>2. 本期計劃預期有效解決國內各港務局水深測量，內政部或經濟部水利署等海岸測量之解析度無法統一之部份，是否有專章(節)討論。</p> <p>3. 水下定位系統介面開發宜考慮模組化及親切性規劃。</p> <p>4. 超短基線之水下定位系統的精度分析是否與文獻中之成果比較。</p>	<p>1. 遵照委員意見辦理，期中審查意見處理情形表及期末審查意見處理情形表附加於期末報告附件。</p> <p>2. 「解決水深測量的解析度無法統一的問題」為本案最終目標之一，受限聲納的設計原理，其解析度大多以等角度定義之，與陸測解析度以等距離，明顯不同，本研究除了概述多音束測深解析度的概念(等角度)，並探討配套儀器的精度與作業流程，預定最後一年加入專章討論。</p> <p>3. 遵照委員意見辦理，目前水下定位系統介面整合至 ROV 操控介面模組化及人性化介面，是本介面的重要目標。</p> <p>4. 依據已蒐集的文獻中並未出現比對多音束測深與超短基線水下定位系統的精度分析，本研究主題可算是首創。</p>	

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p><b>劉景毅教授：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 成果具應用性，可改善深水區之測量精度。</li> <li>2. 水下定位系統今年計對定點進行測試，以後可針對動態之應答器進行測試，尤其在深度部份之精度。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員鼓勵。</li> <li>2. 參照委員意見辦理，本團隊贊同針對動態應答器的精度進行深入研究，並著手設計動態應答器的實驗流程，將其入列明年的重點研究項目。</li> </ol>	
<p><b>黃明志教授：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 工作項目第二項已修正為「以多音束測深系統測量水下定位系統底碇架三維座標之精度探討」。</li> <li>2. 多音束測深系統，水下定位系統量測深度比較部份，是否與壓力式深度計比較。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 參照期中審查黃委員意見辦理。已將工作項目修正為「以多音束測深系統測量水下定位系統底碇架三維座標之精度探討」。</li> <li>2. 遵照委員意見辦理，補充壓力式深度計的水深值。</li> </ol>	
<p><b>余進利組長：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在超短基線系統，應答器是在海床上或是懸浮在水中，如果是懸浮在水中，是否有考慮海流之影響？</li> <li>2. 請補充說明都卜勒流速計如何用於協助戴具的定位及導航。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 超短基線系統應答器可安裝在海床上或懸浮在水中，如果懸浮在水中一定會受到海流作用而運動，故本文調整實驗內容，水下載台採用固定於海床上的載台。</li> <li>2. 遵照委員意見補充，可參照 p20~p22。</li> </ol>	

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>邱永芳主任：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 符合規劃需求。</li> <li>2. 應用性上應事先再釐清。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員肯定。</li> <li>2. 實際應用層面應以長基線水下定位系統才足以搭配水下載台上多音束測深系統所要求的定位精度，本案依序由超短基線至長基線，其緣由是長基線佈放在海床後，其精確坐標的率定原理類似超短基線的定位與率定步驟，本年度的應用性是過程中重要的探討項目。</li> </ol>	

(二)第二年度(99 年)

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p><b>方志中教授：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 長基線水下定位精度分析 期中報告已完成，待期末 報告再討論。</li> <li>2. 長基線水下定位界面開發 (水下定位)已初步完成。</li> <li>3. 多音束測深系統之定位精 度作業(水面定位)已完成 (RTK 及後期處理之精度 分析)應加強： (1)定位程式分析。 (2)定位模式優缺點分析。 (3)多音速聲納足印尺寸分 析。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員肯定。</li> <li>2. 謝謝委員肯定。</li> <li>3. 遵照委員意見辦理，加強 下列三項項目報告內容。</li> </ol>	
<p><b>黃明志教授：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 4.3.2 節內文數字與表 8 不 符，請修正。</li> <li>2. 4.4 節 PatchTest 條件之設 定有何理論基礎，請說 明。率定實驗說明不清楚。</li> <li>3. 5.3 節數值模擬如何進 行，請說明。</li> <li>4. 圖 24-27? 軸座標標示不 符，請修正。</li> <li>5. 報告 5.1 節公式與 2.2.3 節 公式重覆，差別只在於三 個應答器與四個應答器是 否精簡或說明。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照委員意見辦理，修正 4.3.2 節內文數字。</li> <li>2. 遵照委員意見辦理，補充 率定實驗說明。</li> <li>3. 遵照委員意見辦理，期末 報告中補充說明。</li> <li>4. 遵照委員意見辦理，修正 期中報告書。</li> <li>5. 遵照委員意見辦理，修正 期中報告書。</li> </ol>	
<p><b>劉景毅組長：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究以水下載具來增加 多音束測深的精度，報告 中是否增加蒐集水下自動</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照委員意見辦理，期末 報告中補充說明。</li> </ol>	

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>化載具的介紹，例如 ROV、AUV 的說明。現有的水下定位如何進行使用短基或長基定位？</p> <p>2. 報告內容的編排，建議可以進行適當的調整，例如第三章專案時程及工作進度說明可以歸到 1.7 節或最後一章。2.3 節的內容可與第四章結合。2.1 和 2.1 節可與第 5 章結合，page16 和 48 頁的公式可以結合為一。</p> <p>3. RTK 和 PP 的比較有實例成果相當好，但建議可以加強案例內容之說明。例如 Page57 應用在垂直結構物成果之比較是很有應用價值的比較。圖 21 的成果可以做詳細的說明。</p>	<p>2. 參照委員意見辦理，修正期中報告書。</p> <p>3. 遵照委員意見辦理，期末報告中補充。</p>	
<p><b>余進利組長：</b></p> <p>1. 建議第一章 1.5 節之參考文獻列在文章的最後面而參考文獻之列法亦應注意。</p> <p>2. 建議第三章專案時程及工作進度說明移到第一章，如此閱讀起來會比較順暢。</p> <p>3. 期中結論的第 4 及第 5 點未增在內文討論到，不宜在此就下結論。</p> <p>4. 整體的內容太簡略，建議補強。</p>	<p>1. 遵照委員意見辦理，參考文獻移至最後。</p> <p>2. 遵照委員意見辦理。</p> <p>3. 遵照委員意見辦理，移至內文內討論，而非列為結論。</p> <p>4. 遵照委員意見辦理，期末報告中補充更為詳細。</p>	

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>何良勝科長：</p> <p>1. 本研究為 4 年期之第 2 年計畫，建議於期末報告中增列前第 1 年之研究成果。</p> <p>2. 下列請於期末報告中修正或補充說明。</p> <p>(1)p9、p18、p19 中部份內容方式宜以肯定方式說明，例如「預定」「預計」可修正。</p> <p>(2)p15 之圖 6 增加中文說明。</p> <p>(3)部份專有名詞，請增加中文說明。</p> <p>(4)p34 之內文與表 8 之對照修正。</p> <p>(5)部份工作項目之報告內容較為簡略，請於期末報告時，加強補充及說明。</p>	<p>1. 遵照委員意見辦理，將增列前 1 年之研究成果。</p> <p>2. 遵照委員意見辦理修正事項：</p> <p>(1)遵照委員意見辦理。</p> <p>(2)遵照委員意見增加中文說明。</p> <p>(3)遵照委員意見辦理。</p> <p>(4)遵照委員意見辦理，修正 P34 內文。</p> <p>(5)遵照委員意見辦理，期末報告中補充。</p>	