

99-26-7442

MOTC-IOT-98-H2DB007

以水下自動化載具進行多音束 測深之研究(1/4)



交通部運輸研究所

中華民國 99 年 4 月

99

以水下自動化載具進行多音束測深之研究
(1/4)

交通部運輸研究所

GPN : 1009901359

定價 100 元

99-26-7442

MOTC-IOT-98-H2DB007

以水下自動化載具進行多音束 測深之研究(1/4)

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 99 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目資料

以水下自動化載具進行多音束測深之研究.(1/4)

/ 邱永芳等著. -- 初版. -- 臺北市:交通部運輸研究所, 民 99. 04
面; 公分

ISBN 978-986-02-3147-2(平裝)

1. 海洋探測 2. 水中聲學

351. 924

99007272

以水下自動化載具進行多音束測深之研究(1/4)

著 者：邱永芳、薛憲文、張富東、蔣敏玲

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 (中文版>中心出版品)

電 話：(04)26587176

出版年月：中華民國 99 年 4 月

印 刷 者：良機事務機器有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 100 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・電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

GPN：1009901359

ISBN：978-986-02-3147-2 (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(1/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-02-3147-2（平裝）	政府出版品統一編號 1009901359	運輸研究所出版品編號 99-26-7442	計畫編號 98-H2DB007
本所主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計畫主持人：邱永芳 研究人員：張富東、蔣敏玲、蓋美瑛 聯絡電話：04-26587101 傳真號碼：04-26571329	合作研究/共同研究單位：國立中山大學海洋環境及工程學系 計畫主持人：薛憲文 研究人員：陳信宏、李忠潘、陳陽益、王兆璋、張功武、吳泓毅 地址：高雄市鼓山區蓮海路 70 號 聯絡電話：07-5255067		研究期間 自 98 年 3 月 至 98 年 11 月
關鍵詞：多音束測深；水下定位；水下載具			
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角(roll)、縱搖角(pitch)、上下起伏(heave)、橫擺角(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，若採用目前解析度極高的多音束測深儀 Reson 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。 本研究成果之效益及後續應用主要包括： 1. 完成超短基線水下定位的定位精度探討。 2. 完成水下多音束測深系統的定位精度探討。 3. 完成水下定位系統之介面開發之研究。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
99 年 4 月	68	100 元	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： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密條件： ☐ 年 月 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 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**

TITLE: Research of Multibeam Echo Sounding on Automatic Underwater Vehicle (1/4)			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-02-3147-2 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009901359	IOT SERIAL NUMBER 99-26-7442	PROJECT NUMBER 98-H2DB007
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-fang PROJECT STAFF: Chang Fu-tung, Chiang Min-ling, Kai Mei-ying PHONE: 04-26587101 FAX: 04-26571329			PROJECT PERIOD FROM March 2009 TO November 2009
RESEARCH AGENCY: National Sun Yat-sen University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Shianhn-Wern Shyue PROJECT STAFF: Hsin-Hung Chen, Yang-Yih Chen, Chung-Pan Lee, Chau-Chang Wang, Kung-Wu Chang ADDRESS: No. 70, Lienhai Rd., Kaohsiung 80424, Taiwan, R.O.C. PHONE: 07-5255067			
KEY WORDS: Multibeam Echo Sounding , Underwater Positioning System, Underwater Vehicle			
ABSTRACT: Traditionally, multi-beam bathymetric technology is mostly installed on vessels as a vehicle, but waves, coastal currents, and tides easily impact the motions of a ship, including roll, pitch, heave, and yaw. This causes the quality of bathymetric data to vary and we need to spend much more time doing Quality Assurance/Quality Control. However, the footprint of multi-beam bathymetric is in direct proportion to water depth. For example, if the highest resolution multibeam echo sounder, such as Reson Seabat 8125, which has 240 focused beams with 0.5° beam width for each beam formed 120° swath angle, is used. To survey in a 100m water depth area, the footprint is about 0.87m-3.55m, that is each depth may cover the radius between 1-4m range and data density will be larger than 1.44m. These inherent limitations are not good enough to detect underwater pipelines, micro-topography or underwater object features. This research's benefit and application includes: 1. to achieve the accuracy of ultra short baseline positioning research. 2. to finish the positioning accuracy of the multibeam mounted on an underwater vehicle research. 3. to complete the interface of a underwater positioning system .			
DATE OF PUBLICATION April 2010	NUMBER OF PAGES 68	PRICE 100	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ 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
圖 目 錄	V
表 目 錄	VIII
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
1.5 重要文獻回顧	1-5
1.6 預期成果	1-6
第二章 研究方法及進行步驟	2-1
2.1 超短基線之水下定位系統的精度探討	2-1
2.2 以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探討.....	2-4
2.3 水下定位系統之介面開發	2-6
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
3.3 報告內容	3-3
第四章 超短基線之水下定位系統的精度探討	4-1

4.1	水下定位系統模式概述	4-1
4.2	超短基線定位系統之對準偏差校正演算	4-9
4.3	實海域定位量測資料之對準偏差校正	4-19
4.4	超短基線系統之水下定位精度量測分析結果	4-29
第五章	以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探討.....	5-1
5.1	衛星定位模式精度	5-2
5.2	多音束聲納的足印(Footprint)尺寸	5-6
5.3	多音束測深系統率定(Patch Test)精度	5-9
5.4	多音束測深系統實測水下定位系統底碇架位置	5-14
第六章	水下定位系統之介面開發	6-1
6.1	硬體架構	6-1
6.2	軟體架構	6-3
6.3	水下定位應用在 ROV	6-3
6.4	導航與定位介面	6-6
6.5	實海域測試	6-14
第七章	結論與建議	7-1
7.1	結論.....	7-1
7.2	建議.....	7-2
7.3	效益與應用情形	7-2
參考文獻		參-1
附錄一	期中報告審查意見處理情形表.....	附 1-1
附錄二	期末報告審查意見處理情形表.....	附 2-1
附錄三	期末報告審查簡報資料.....	附 3-1

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 水下定位原理示意圖	2-1
圖 2.2 水下定位公式推導示意圖	2-3
圖 2.3 多音束測深系統示意圖	2-4
圖 2.4 率定(Patch Test)角度示意圖	2-5
圖 2.5 虛擬實境基本定義	2-8
圖 2.6 水下定位系統介面範例-WorldUp 之使用界面	2-8
圖 4.1 三個軸向的角度位向	4-2
圖 4.2 電羅經誤差與緯度的關係圖	4-3
圖 4.3 ROV 水下定位方法- 都卜勒流速計	4-4
圖 4.4 水下定位方法-都卜勒流速計	4-5
圖 4.5 水下定位原理示意圖	4-6
圖 4.6 長基線聲學定位(LBL)示意圖	4-7
圖 4.7 短基線聲學定位(SBL)示意圖	4-7
圖 4.8 超短基線聲學定位(SSBL)示意圖	4-8
圖 4.9 座標系統定義	4-10
圖 4.10 角度對準偏差定義	4-11
圖 4.11 超短基線定位之對準偏差演算流程	4-16
圖 4.12 偏離航跡誤差修正之參數定義	4-18
圖 4.13 佈放應答器錨碇串列	4-20

圖 4.14 船行軌跡被劃分為 L1~L8 八條線段.....	4-20
圖 4.15 收發器量得的應答器位置.....	4-21
圖 4.16 由 CTD 量測所推算之水層聲速剖面.....	4-21
圖 4.17 L7 測線之應答器定位資料進行偏離航跡誤差修正	4-22
圖 4.18 利用 L7 測線資料進行對準偏差估算的結果	4-25
圖 4.19 對準偏差角度修正前與修正後之應答器定位資料.....	4-26
圖 4.20 對準偏差角度變化對應答器定位精度的影響.....	4-27
圖 4.21 海床應答器底碇架	4-30
圖 4.22 超短基線定位精度與半錐角大小有關.....	4-31
圖 4.23 佈放海床應答器底碇架	4-31
圖 4.24 利用超短基線系統進行海床應答器定位作業之船舶航行軌 跡.....	4-32
圖 4.25 應答器定位量測之水層聲速剖面.....	4-33
圖 4.26 利用 GPS 與聲學斜距量測所估算的三個應答器座標位置 .	4-35
圖 4.27 水深 32 公尺之應答器定位斜距誤差.....	4-36
圖 4.28 水深 76 公尺之應答器定位斜距誤差.....	4-36
圖 4.29 水深 110 公尺之應答器定位斜距誤差.....	4-36
圖 4.30 感測器對準偏差校正前與校正後之定位誤差.....	4-37
圖 4.31 目標物定位誤差隨半錐角增加而變大.....	4-38
圖 5.1 Reson 8125 多音束聲納足印尺寸	5-8
圖 5.2 率定(Patch Test)條件.....	5-9
圖 5.3 率定(Patch Test)目標物尺寸大小.....	5-10
圖 5.4 率定參數(L,P,R,Y)為(0,0,0,0)水深色階圖	5-11
圖 5.5 率定參數(L,P,R,Y)為(0,0,0.25,0)水深色階圖	5-12

圖 5.6 率定參數(L,P,R,Y)為(0,7,0.25,0)水深色階圖	5-13
圖 5.7 水深 30m 實驗區海床背景地形.....	5-14
圖 5.8 水深 30m 實驗區底碇架水深示意圖.....	5-14
圖 5.9 底碇架測深點雲圖	5-15
圖 6.1 系統硬體架構.....	6-1
圖 6.2 與介面結合之硬體.....	6-2
圖 6.3 系統軟體架構.....	6-3
圖 6.4 ROV 定位座標系統	6-4
圖 6.5 ROV 操控導航介面	6-7
圖 6.6 ROV Seamor 照片(左)與 3D 模型(右).....	6-8
圖 6.7 海研三號研究船	6-8
圖 6.8 海研三號研究船 3D 模型	6-8
圖 6.9 安平外海船礁區地形.....	6-9
圖 6.10 操作員可以自行設定平坦地形並指定地形之貼圖材質	6-9
圖 6.11 工作船航向與 ROV 航向顯示	6-10
圖 6.12 ROV 軌跡與工作船軌跡顯示	6-10
圖 6.13 介面功能表.....	6-11
圖 6.14 於虛擬場景中建構 3D 物件.....	6-13
圖 6.15 重播介面.....	6-14
圖 6.16 導航域測試地點	6-15
圖 6.17 高雄港外海定位測試重播畫面.....	6-16

表 目 錄

表 3.1 預定進度甘特圖(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 4.1 各航跡收集定位資料所估算出三個對準偏差角度	4-26
表 4.2 超短基線水下定位系統各儀器之規格特性	4-29
表 4.3 底碇架上三個應答器之間的相對距離	4-30
表 5.1 多音束測深系統的誤差源	5-1
表 5.2 衛星定位模式	5-4
表 5.3 衛星定位模式的優缺點	5-5
表 5.4 Reson 8125 多音束聲納足印尺寸表(單位:公尺)	5-7
表 5.5 多音束測深系統與水下定位系統量測結果比較表	5-16

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角(roll)、縱搖角(pitch)、橫擺角(yaw)及上下起伏(heave)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，若採用目前解析度極高的多音束測深儀 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文線狀態之探測、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一年，將多音束測深系統由水面載具移至水下載具，首先要克服水下定位系統的問題，因此第一項要探討的主題為「超短基線之水下定位系統的精度」，除了水下定位系統外，匯整水面載具的定位系統進而評估「多音束測深系統測量水下載台底碇架三維坐標之精度」。第二項問題為水下載具的航行安全，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，因此模擬水下載具位置的視覺介面，「開發水下定位系統之介面」是另一項重要課題。

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，與測量慣用的長度的觀念差異甚大。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與水深成正比，可參照下圖。而多音束測深系統演進至今，目前0.5度的音束束寬是最高解析度機種，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。

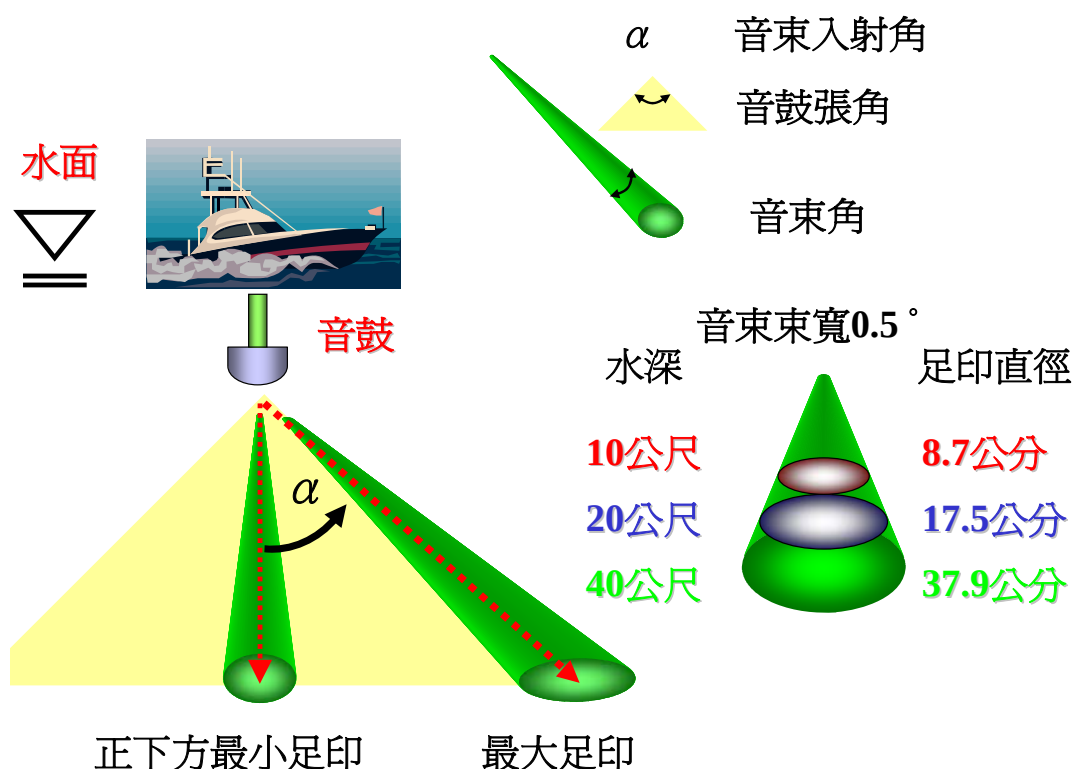


圖 1 足印與水深關係示意圖

為有效的解決測量解析度之問題，將多音束測深系統安裝在水下載具是一種極為有效之解決方案，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，因此本研究擬以此相關之課題進行研究。

1.3 研究範圍與對象

本計畫針對有效的解決測量解析度之問題，將多音束測深系統安裝在水下載具是一種極為有效之解決方案，因此本研究擬以此相關之課題進行研究，四年之研究主題可參照下圖。

以水下自動化載具進行多音束測深系統之研究

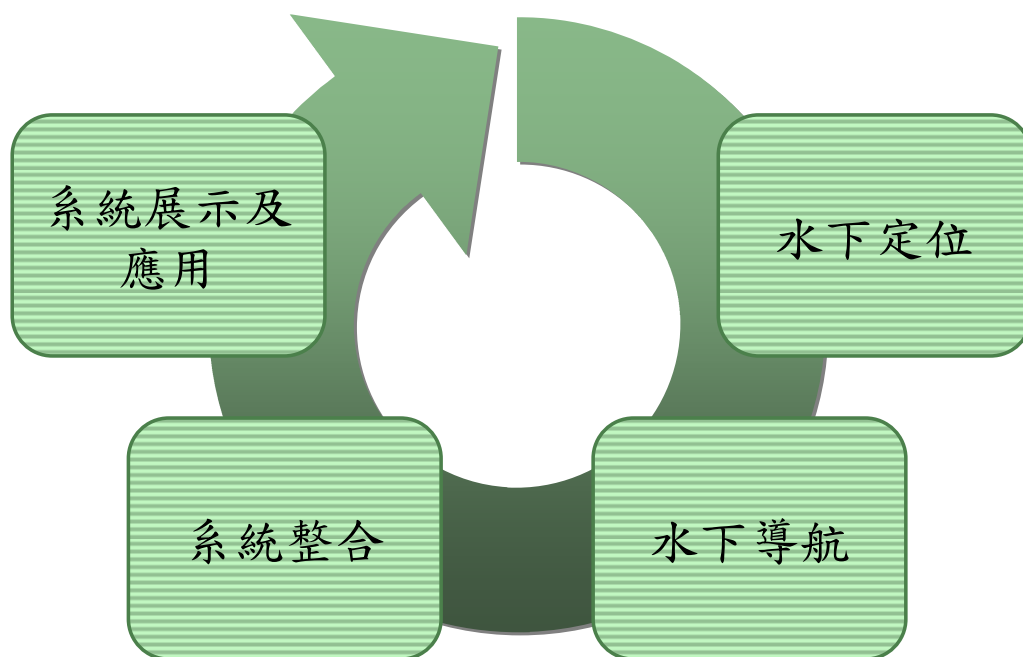


圖 2 四年工作計畫流程圖

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：以水下載具導航系統之規劃設計為主軸，探討水下多音束測深系統之整合技術及水下載具導航系統之規劃設計。

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。

1.4 研究內容與工作項目

1.4.1 研究內容

本年度研究案將探討多音束測深系統安裝在水下載具所需克服之定位與精度問題，分為三項主題，水下定位系統之精度分析、最終的測量成果精度分析及水下定位系統的界面開發等。

1.4.2 工作項目

本年度之工作項目

1. 超短基線之水下定位系統的精度探討。
2. 以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探討。
3. 水下定位系統之介面開發。

1.5 重要文獻回顧

水下載具的導航必須以精確的定位為基礎(Whitcomb et al., 1999; Jouffroy and Opderbecke, 2007)，雖然超短基線定位系統因其佈放與操作簡便而常用於水下載具之定位，然而其定位精度卻容易受到許多誤差的影響，這些誤差包括感測器對準偏差、聲傳時間誤差、以及方向角量測誤差(Philip, 2003a)。關於感測器對準偏差，主要是因為收發器、運動感測器、以及羅經三者通常是分離的感測器，因此安裝這三個儀器時，難免會產生對準偏差。要獲得精確的超短基線定位，就必須校正超短基線定位系統的感測器對準偏差(McEwen et al., 2005; Kinsey and Whitcomb, 2007)。

現行有許多方法針對超短基線定位系統的對準偏差進行校正，其作法通常是在海底佈放一個應答器作為參考的基準。Opderbecke (1997) 提出一個迭代程序來校正超短基線感測器的對準偏差，此一程序利用船隻在海床應答器上方行駛任意軌跡所蒐集而得的定位資料來進行。Opderbecke 提也特別提到蒐集資料時的船行的軌跡是影響校正準確性的重要因素之一，然而對於船行軌跡的幾何特性卻隻字未提。

毫無疑問地，船行軌跡確實影響超短基線定位系統的對準偏差校正(Philip, 2003b)，因此目前已發展出許多幾何校正方法來進行超短基線對準偏差校正，例如 cardinal points, circular box-in, triangle, figure of eight, hourglass 等等(Faugstadmo et al., 2002)。然而要執行上述這些方法來進行對準偏差校正，必須使用具備特殊動態定位能力的船隻才得以實現。雖然具備動態定位能力的船隻已有逐年增加的趨勢，但目前絕大部分的船隻仍不具備動態定位系統，因此上述這些對準偏差校正的方法，在執行層面上仍不具實用性。

相對於其他幾何模式的船隻航行操縱，直線航行算是最簡易可以完成的一種。因此本研究計畫利用直線的船行軌跡來蒐集水下底碇應答器的定位資料，並開發一套數值迭代程序來估算感測器在 pitch、roll、heading 三個角度的對準偏差。不過，受到風、海流、波浪、以及

其他干擾因素的影響，未具備動態定位能力的船隻是不可能完全依照設定的直線路徑航行，所以船隻會偏離預設航線而產生所謂的偏離航跡誤差(Cross-track error)。不過，即使是具備動態定位能力的船隻，也不見得容易將船完全控制在預設的航線上，更何況目前仍有眾多研究致力於動態定位船隻的操控上，以減少動態定位船隻的偏離航跡誤差(Gierusz et al., 2007; Moreira et al., 2007)。因此，為了提高超短基線定位系統對準偏差校正的實用性與準確性，本研究也針對偏離航跡誤差發展出一套修正的程序與方法。

1.6 預期成果

1.6.1 本年度(第一年)預期成果

1. 獲得超短基線之水下定位系統的精度分析成果。
2. 獲得以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分析成果。
3. 開發水下定位系統之介面。
4. 完成提升水下載具位置之精度。

第二章 研究方法及進行步驟

2.1 超短基線之水下定位系統的精度探討

2.1.1 水下定位系統模式概述

由於電磁波與光波能量在水中衰減的速度很快，衛星定位及全測站(total station)...等水面以上的定位儀器並不適用於水下定位。市面上經常採用的水下定位儀器分為二種原理：航行位移推測(Dead Reckoning)及聲學式定位(Acoustic Positioning)。慣性導航的優點是相對精度很高，主要缺點是誤差值經由積分累積越來越大，因此適用短週期的相對位移計算，可得到高精度的定位成果。而聲學式定位與衛星定位的原理類似，採用空間後方交會法的原理，可參照下圖。

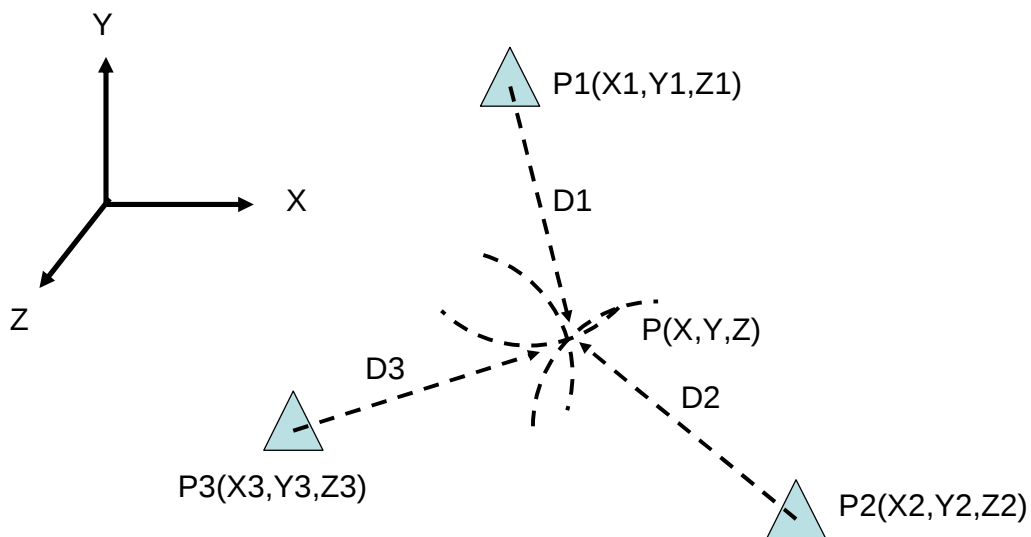


圖 3 水下定位原理示意圖

水下聲學的定位方式依基線的長短，可分：1.長基線聲學定位(Long Baseline Acoustic System; LBL)：基線距離可長達數公里，基站($P1, P2, P3$)固定在已知位置的海床上，欲求得 P 點的位置。2.短基線聲學定位(Short Baseline Acoustic System; SBL)：基站固定在船隻底部，基線距離約 5~20 公尺，由於基站位置隨著船隻運動變化，除了需要進行船隻載具定位的修正，船隻載具的姿態(heave, roll, pitch, yaw)亦需修正。3.超短基線

聲學定位(Super 或 Ultra) Short Baseline Acoustic System；SSBL 或 USBL)：基站間距離縮小至幾十公分內，因基線距離過短，已經不適用時間差的測量原理，改採用相位差的計算原理。

原則上基線距離越長(P1,P2,P3 之間的距離)定位精度越高，短基線的定位聲納固定在船隻上而非海床上，是極為方便的改良優點，超短基線的安裝又更為方便，只要在載具上選擇一位置個安裝，這也是本年度之研究選擇超短基線作為水下定位的原因。

超短基線系統之元件包含：收發器(transceiver)、應答器(transponder/responder)及控制器(computer or topside unit)。其中收發器包含三個以上分隔 10 公分或以內基線(baseline)的音鼓陣列(transducer array)，通常固定於船底(hull-mounted)或船隻左右舷(side-mounted)，而應答器則安置於海床上、拖魚(towfish)或水下潛行器(ROV)，控制器則是利用收發器所量測得到之距離(range)與方位角(bearing)來計算應答器所在之位置。收發器會傳送一聲學脈波(acoustic pulse)，當海下之應答器偵測到此脈波後會以自己的聲學脈波回覆，此回覆之脈波會被收發器接收到，發射到接收所歷經的時間可以換算成傳播距離(range)，利用音鼓陣列的相位差(phase-differencing)可以計算至水下應答器之方位角。

2.1.2 探討超短基線之水下定位系統的精度

超短基線定位方式是經由量測聲波訊號抵達陣列接收器之相位差求得，藉由估計各個參數因子的誤差量可評估其定位精度。可參照下圖，各參數的意義如下：

ξ (bearing angle)：船艏水平方向角

ζ (depression angle)：俯角

S_r (slant range)：收發器與應答器之間的斜距

H_r (horizontal range)：音鼓斜距的水平分量

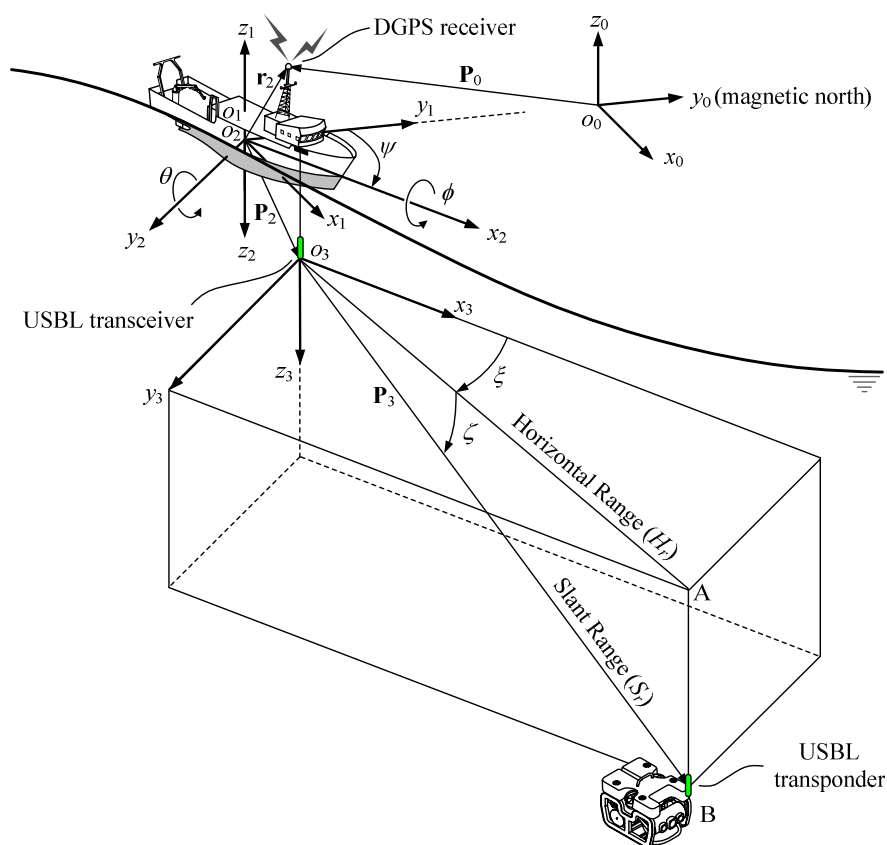


圖 4 水下定位公式推導示意圖

$$H_r = S_r \cos \zeta$$

$$X = H_r \cos \xi$$

$$Y = H_r \sin \xi$$

$$Z = S_r \sin \zeta$$

若以 Linkquest Inc. 出產之 Trackline 1500HA 之 USBL 的規格為例，其最大測量之斜距為 1000m，斜距(slant range)測量之精度為 0.20m，而水平定位精度為 0.25 度(較斜距 0.5%為佳)。在理想狀態下，當斜距為 1000m 時，其水平定位誤差約為 5m；若在斜距為 500m 時，其水平定位誤差約為 2.5m；在斜距為 100m 時，其水平定位誤差約為 0.5m。

2.2 以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探討

多音束測深系統非常複雜，可參照圖 5，本章節歸納系統內的誤差源，並從多音束測深系統誤差源分析引入量測水下目標物的主要誤差源：衛星定位精度、多音束聲納足印(Footprint)尺寸及多音束測深系統率定(Patch Test)精度等概念，進而分析每一個主要誤差源對於精度的影響層面，並且輔以實測資料相互驗證多音束測深與水下定位的成果比較。

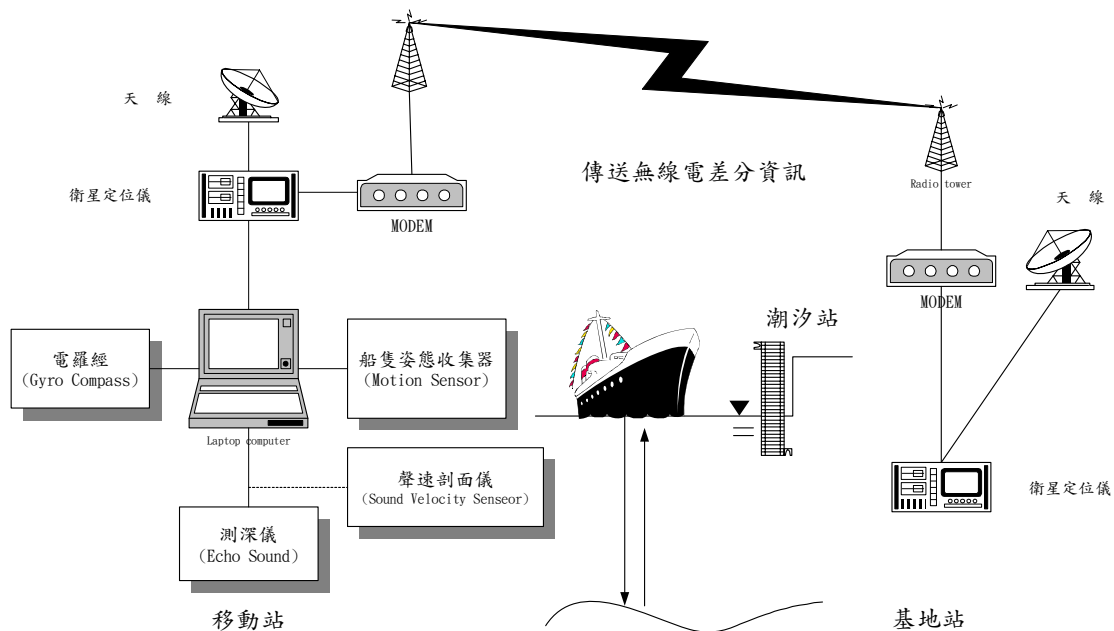


圖 5 多音束測深系統示意圖

2.2.1 探討衛星定位模式精度

概述衛星定位原理，說明現今可採用的定位衛星(GPS, GLONASS, Galileo)機種，定位模式精度差異(DGPS, RTK)造成的後果，以及達到高精度定位(10 公分以內)的可行性模式；並探討無線電、GSM 或衛星傳輸差分訊號的優缺點。

2.2.2 多音束聲納的足印(Footprint)尺寸

一般而言多音束聲納採用等角度而非等距離作為測深基準，按常理量測平坦的海床，音鼓正下方(Nadir Beam)得到的足印較外部音束(Outer Beam)來的小，由於音束角(Beam Angle)越大，足印也越大，可參照圖 1，而正下方與外部的足印經常是數倍大小，對於陸上測量以長度作為解析度的概念大不相同，本章節探討足印尺寸、水深與音束角的互動關係，並評估在特定條件下，多音束聲納可量測特徵物的尺寸大小。

2.2.3 多音束測深系統率定(Patch Test)精度

率定的概念是以不同的量測條件，由資料疊合的好壞反算修正參數，包括一個時間參數時間遲滯(Latency)及三個角度參數：橫搖角(Roll)、縱搖角(Pitch)和橫擺角(Yaw)等。理論上率定求得的參數是音鼓與三軸的偏差角度，以及定位與測深的時間差，但實務上融合了各項誤差源的綜合體，因為率定的基本概念是找出四個參數使，使疊合測量的誤差成果最小，因此本章節探討率定參數與其它誤差源的互動影響程度，甚至四個參數之間也會彼此相互連動改變。

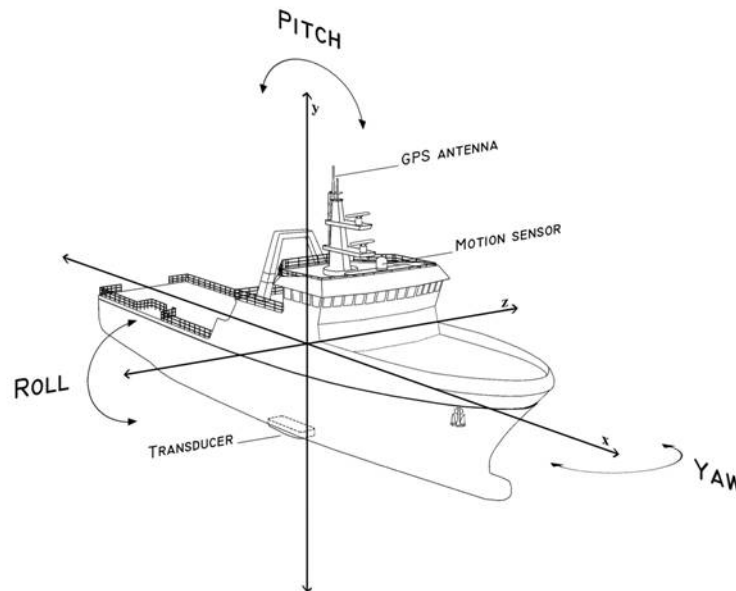


圖 6 率定(Patch Test)角度示意圖

2.2.4 以多音束測深系統實測水下定位系統底碇架位置

由上述的定位精度、作業水深範圍、允許的足印尺寸設計實驗，分別使用多音束聲納量測水下定位系統底碇架位置及三組水下定位儀量測底碇架位置，並比較二個系統得到的成果。

2.3 水下定位系統之介面開發

當 ROV 進行水下作業時，操作員無法直接目視 ROV，所以 ROV 的狀態與動作需要藉由感測資訊來判斷，例如水深、影像、ROV 航向，ROV 水下定位、支援工作船的艏向以及 GPS 座標等等。感測資訊的呈現方式，不僅會影響 ROV 的操控效率，也會涉及 ROV 能否安全地被導引至目的地。感測資訊若以單純的數字來呈現，對於操作員掌握 ROV 位置與動態特性的侷限很大，特別是對於實際操作經驗不足的 ROV 操作員，更是難以將大串數據資料直接轉換為 ROV 的三度空間位置。舉例來說，在 1999 年德基水庫失事直昇機的搜尋過程中，操作員只能依靠深度數據、航向數據、以及 ROV 的攝影機所提供的影像來判斷 ROV 之位置，並下達操作命令。但是因為水庫底部污泥混濁，使得攝影機的視野大受影響，而且因為不能掌握 ROV 的移動軌跡，所以常重複搜尋相同的區域，以致浪費了許多寶貴的時間及人力。

事實上，人類對於圖像的理解能力比對文字的理解能力更快更直覺，所以如果可以將感測器數據資料整合之後直接以圖像方式呈現，將有助於 ROV 操作員理解與掌握 ROV 的位置資訊。此外，在操控 ROV 的過程中，ROV 的位置資訊隨時在改變，所以 ROV 的位置也最好能夠以動態圖像的方式來呈現。所以為了提升 ROV 的操控安全與操控效率，不僅需要一套可以提供 ROV 感測資訊的監控介面，而且要利用虛擬環境在視覺上的優點，將擷取的各種感測資訊整合在虛擬環境中，讓操作員可以直覺地、輕易地掌握 ROV 的動態與行蹤。

除了需具備友善、直覺、互動的圖形介面外，要讓 ROV 導航與定位介面真正發揮功能，先決條件是要有準確的水下定位。水下定位的準確性，取決於許多因素，包括定位系統對聲訊擷取與分析的準確度、

聲速、收發器的安裝姿態。對商用定位系統而言，聲訊擷取與分析的準確度是使用者無法控制的，所以難以從此方向來提升定位準確度。聲速會影響斜距的計算，所以進行定位時必須量測聲音在水中傳播的平均速度。至於收發器的安裝姿態，會隨船體運動而改變，所以必須知道船體的運動姿態。不過收發器與量測船體運動的感測器（包括運動感測器與電羅經）之間的參考線和參考面必須對準，否則產生的對準誤差會造成定位誤差，然而這些對準誤差難以直接由尺規量測得到，必須透過適當的實驗校正方式估算出來。

2.3.1 水下定位系統之介面系統分析

水下載具位置 P_0 除了作為多音束測深值的參考基準位置，另一項重要的應用是作為水下載具的導航資訊，其操作界面需求可融入虛擬實境的概念。

虛擬實境以 3I 作為基本定義：1. Immersion(沈浸)：使用者必須要能夠融入虛擬情境中，並產生身歷其境的感覺。在加強虛擬實境系統的融入感時，可以善用週邊設備來達成視覺、觸覺、聽覺、甚至是嗅覺的沉浸程度。2. Interaction(互動)：虛擬場景必須具備能與使用者產生互動的功能，如同我們日常生活所了解的慣性行為一樣，譬如伸手推門門會開…等。3. Imagination(想像)：虛擬實境是一個由想像力建構的世界，也許是源自真實世界的模擬，但是卻充滿更多的可能性，因此能將許多現實世界不可能存在的現象表示出來，如我們可以進入人體中遊走，了解身體各器官的構造與分佈情形。

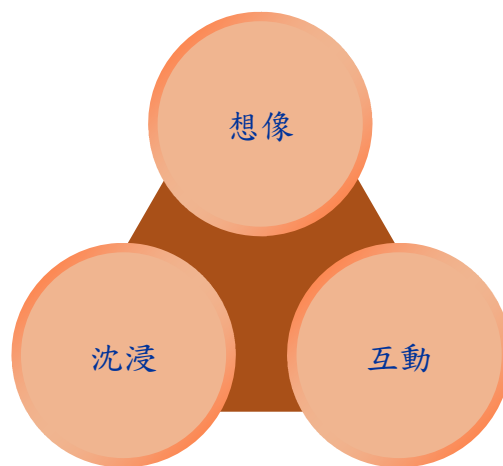
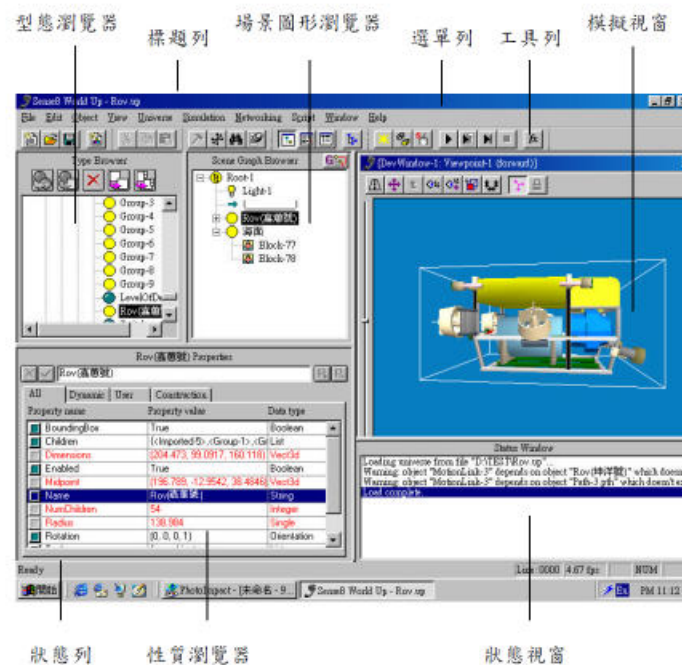


圖 7 虛擬實境基本定義

2.3.2 水下定位系統之界面開發設計

1. 回顧各種虛擬實境軟體的操作界面設計理念，下圖為 WorldUp 的操作界面範例。
2. 比對上一章節的界面需求提出完整的水下定位系統虛擬實境設計理念。



摘自洪嘉蕙論文

圖 8 水下定位系統介面範例-WorldUp 之使用界面

第三章 專案時程及工作進度說明

3.1 專案時程

表 1 預定進度甘特圖(Gantt Chart)

工作項目	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月	第10月	第11月	第12月	備 註
超短基線之水下定位系統的精度探討			※	--	--	※	--	--	--	※	※		
期中報告					--	※							
以多音束測深系統測量水下載台底碇架三維坐標之精度探討					--	※	--	--	--	※	※		
水下定位系統之介面開發					--	※	--	--	--	※	※		
期末報告									--	※	※		
工作進度估計百分比(累積數)	0	0	10	20	30	50	60	70	90	100	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 2 工作進度說明

工作項目	預定進度	實際進度	備 註
超短基線之水下定位系統的精度探討	100%	100%	
撰寫期中報告	100%	100%	
以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探討	100%	100%	
水下定位系統之介面開發	100%	100%	
撰寫期末報告	100%	100%	

表 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	97 年 06 月 29 日
期末報告	期末報告初稿十份	97 年 10 月 28 日
	研究報告書、期末簡報定稿及電子檔案乙份	97 年 11 月 30 日

3.3 報告內容

3.3.1 期中報告內容

第一章：前言，說明本案研究目的、工作項目及期程。

第二章：專案時程及工作進度說明。

第三章：研究方法及進行步驟。

第四章：超短基線之水下定位系統的精度探討。

第五章：期中結論及未來工作。

3.3.2 期末報告內容

第一章：前言，說明本案研究目的、工作項目及期程。

第二章：專案時程及工作進度說明。

第三章：研究方法及進行步驟。

第四章：超短基線之水下定位系統的精度探討。

第五章：以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探討。

第六章：水下定位系統之介面開發。

第七章：結論及未來研究方向。

第四章 超短基線之水下定位系統的精度探討

4.1 水下定位系統模式概述

由於電磁波與光波能量在水中衰減的速度很快，衛星定位及全站站(total station)...等水面以上的定位儀器不適用水下定位，市面上經常採用的水下定位儀器分為二種原理：航行位移推測(Dead Reckoning)及聲學式定位(Acoustic Positioning)。

4.1.1 航行位移推測(Dead Reckoning)

所謂航行位移推算就是由一已知點出發，藉由航向變化、速度、時間來推算出相對於出發點的位置。在水下定位的應用中，航行位移計算常使用慣性導航系統(Inertial Measurement System; INS)和都卜勒流速計(Doppler Velocity Log; DVL)。

1. 慣性導航系統：

慣性導航是利用加速規和陀螺儀量得水下載具在三垂直軸向的加速度和角速度，配合已知出發點速度、姿態，透過力學運動計算出水下載具之位置、速度、姿態、航向等資訊。

慣性導航系統由慣性測量元件(Inertial Measurement Unit, IMU)及導航系統(Navigation System)所組成，慣性導航的優點是相對精度很高，主要缺點是誤差值同樣經由積分累積越來越大，因此適用短週期的相對位移計算，可得到高精度的定位成果。另一方面，精度越高的慣性導航儀，相對而言其體積較大，價錢也是成等比級數上升。對於水下測量而言，儀器的體積及防水性是另一項重要的考量因子。

慣性測量元件主要由三個垂直軸向的線性加速規組成，獲得三個軸向(X, Y, Z)的加速度，可間接推算三軸向的位向角度(Pitch, Roll,

Yaw)，可參照下圖，也可直接量測三軸的角動量計算三軸向的位向角度。

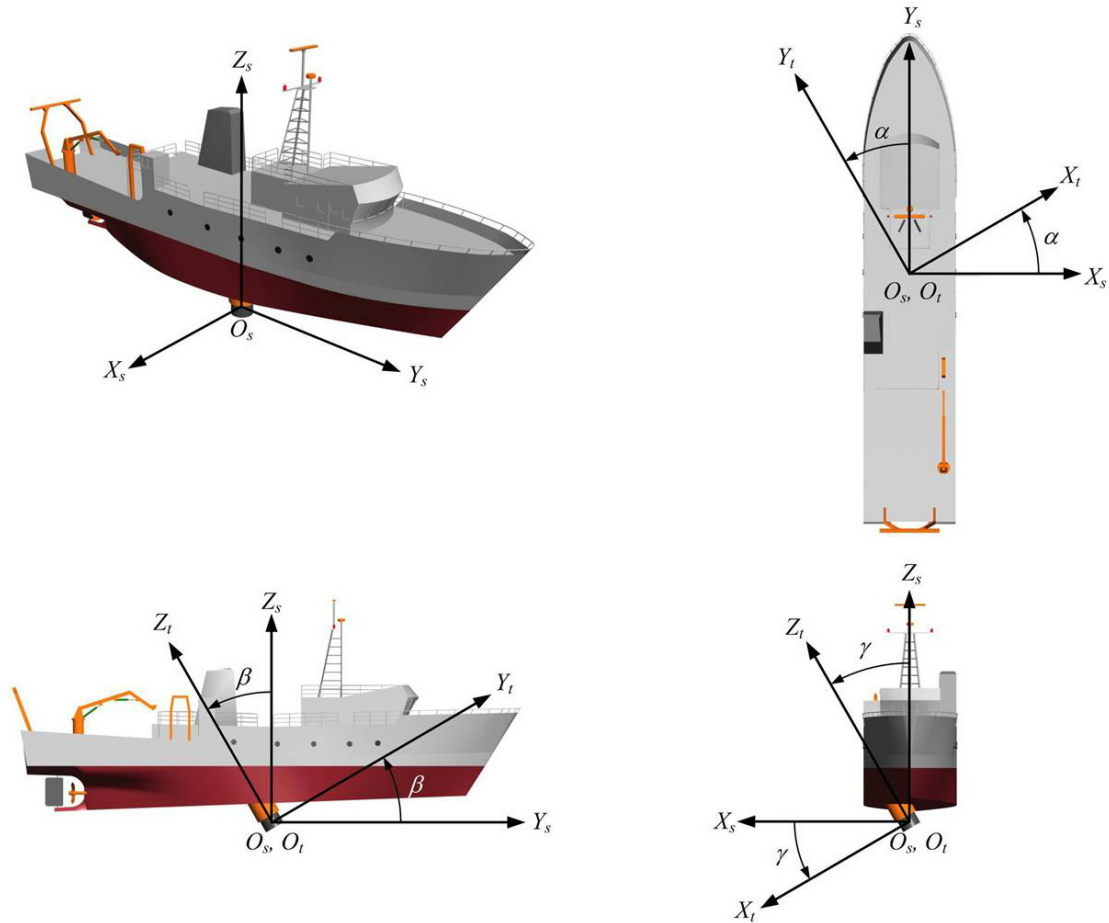


圖 9 三個軸向的角度位向

由三個垂直軸向的線性加速規輸出的資訊，通常不足以獲得精準的正確位置，導航系統需要計算額外的資訊：姿態計算、重力改正、加速度積分、速度積分...等，才足以獲得充份修正參數，以 IXSEA Octans 100 為例，其電羅經(Gyrocompass)的精確度會隨著緯度改變（可參照圖 10），因此作業時若給予 NMEA 的 VTG 資訊，可降低誤差值。此外，給予當前載具的相對地面速度也是必要的修正資訊。

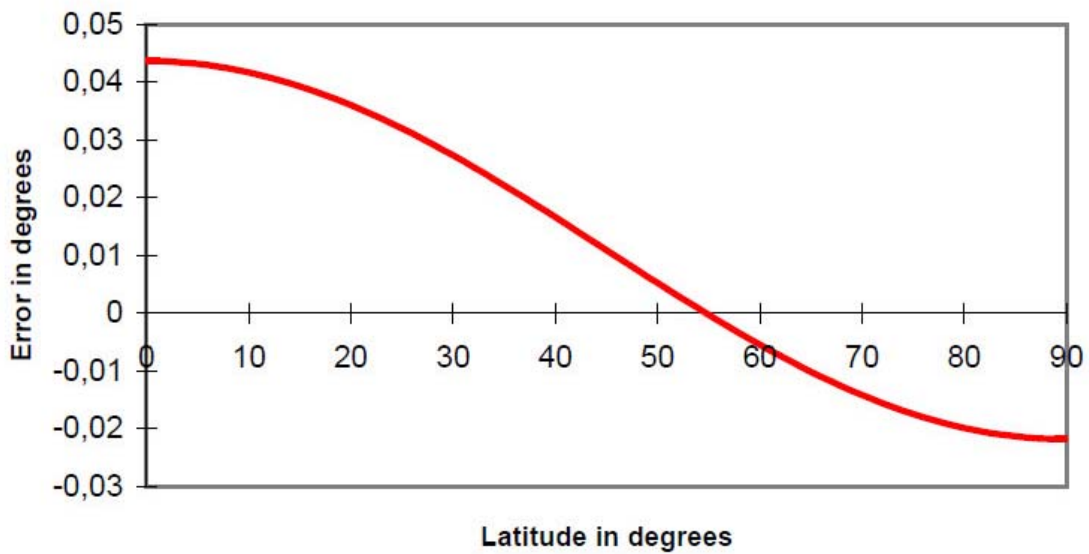


圖 10 電羅經誤差與緯度的關係圖

2. 都卜勒流速計。

都卜勒流速計則是發射一固定頻率之聲波至海床，再接收由海床反射之回訊，若都卜勒流速計與海床有相對運動，都卜勒流速計接收由海床反射之聲波頻率便會與發射聲波不一樣，藉此可以推求都卜勒流速計與海床之間的相對運動速度，再將速度對時間積分便可求得相對位移。利用慣性導航或者是都卜勒流速計來推算水下載具航行相對位移，會受限於資料更新頻率和積分運算本質，使得位置估測誤差隨著時間增長而持續累積；除此之外，一旦速度和航向量測不準確，位置估測誤差也會隨著時間增長而持續累積，所以航行位移推算並不適用於長時間的位置估測。航行位移推算中最主要的一個誤差來源就是航向量測偏差 (Heading bias)，主要是因為羅經容易受到水下載具（電池、馬達、纜線）產生的局部磁場所影響 (Grenon, 2001)。不過，在速度和航向量測準確的情況下（特別是航向量測），航行位移推算最大的優點是在短時間內產生的位置估測誤差很小，所以航行位移推算若能搭配其他定位系統使用或是整合其他感測資訊，便有可能獲得相當精確的定位。所以利用慣性導或是都卜勒流速計來輔助水下載具定位，其成功的關鍵技術在於研究慣性導系統之航向偏差特性，並建立有效的校正程序來降低航向偏差對水下定位的影響。

都卜勒流速計可以安裝於水下自主式載具 (Autonomous Underwater Vehicle, AUV)或水下遙控載具(Remotely Operated Vehicle, ROV)，用於協助載具的定位及導航（圖 11）。

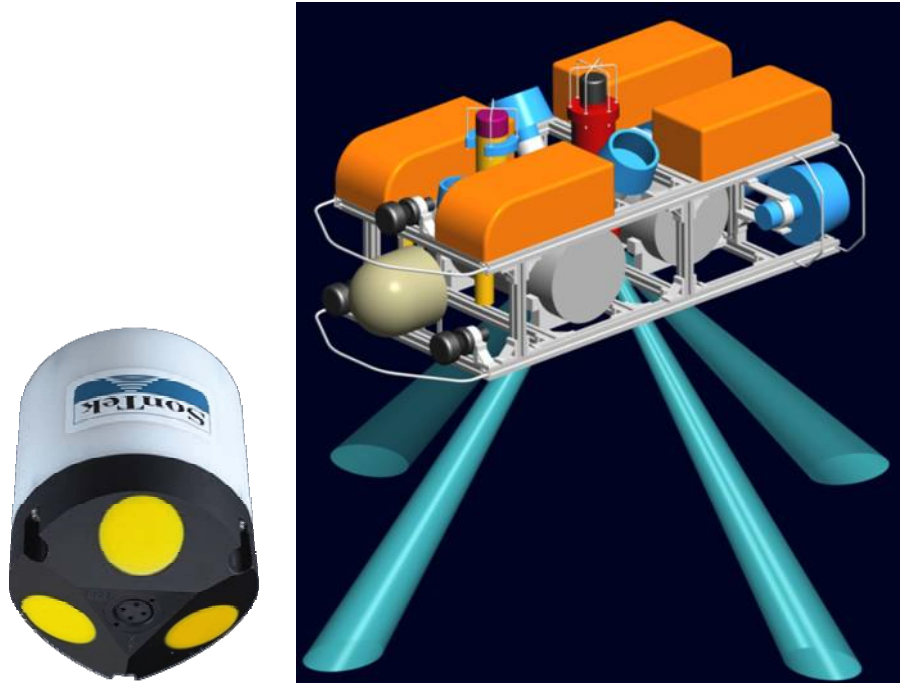


圖 11 ROV 水下定位方法- 都卜勒流速計

AUV 及 ROV 的水下定位方法是依照其水下航行測量設計，其中重要的設計條件是避免與海床的碰撞，並保持在海床上一定的航行高度，因此水下載具的導航安全需求，較水下定位精度要求更為優先。都卜勒流速計(Doppler Velocity Log; DVL)的原理是由載具向下量測，可同時計算都卜勒流速計至海床距離(Z_2)及相對運動的平面位置(X, Y)，另一方面 ADCP 也需要簡易的姿態感應資訊(Pitch, Roll, Yaw)以修正(Z_2)，並輔以壓力計解算 ADCP 至水面距離(Z_1)，獲得完整的三維資訊(X, Y, Z)，由於其平面位置(X, Y)是以 ADCP 開始測得海床作為起始原點(0,0)，故其所得到的資訊皆為相對位置。

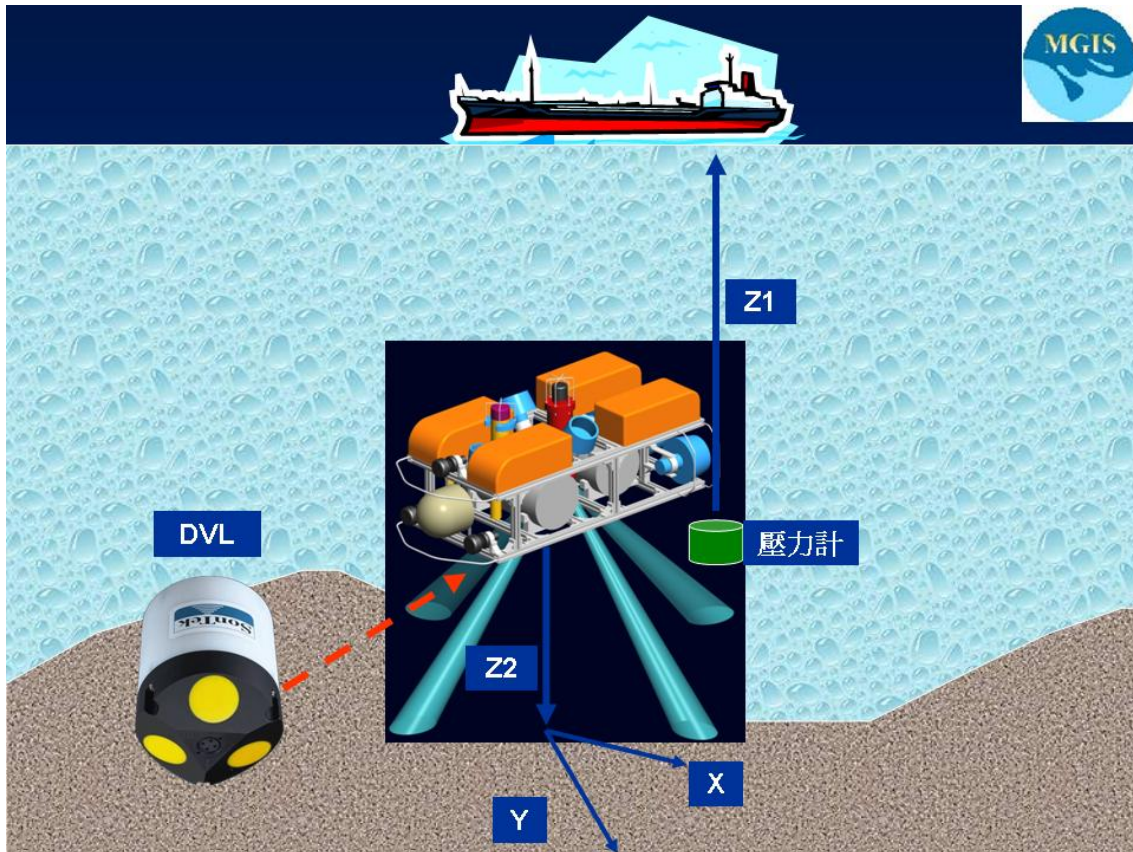


圖 12 水下定位方法-都卜勒流速計

利用都卜勒流速計進行水下定位，其量測精度以 DVL 的量測距離及其音束束寬為主要的評估基準。另一方面，定位所需的積分計算所產生的累積誤差，則是 DVL 水下定位的另一項主要誤差源。

DVL 定位的優點是計算較 IMU 簡單，另一方面 DVL 的四個聲波感測器，可有效協助水下載具進行高程(Z2)的計算。受限於聲傳速度(約 1500 m/s)，其缺點是資料輸出頻率不夠快（僅為數 Hz），因此，定位誤差容易累積變大。此外，水中聲波遭遇氣泡或水溫驟生（例如海底熱泉）而無法準確提供定位資訊時，導航系統必須具備足夠的預測運算能力，以修正 DVL 的定位資訊。在經費足以負擔及載具配套設施足夠的情形下，水下載具同時安裝 INS 及 DVL 可大幅增加水下定位的精度。

4.1.2 基線聲學式定位(Baseline Acoustic Positioning)

在基線聲學式定位方法中，兩應答器之間所連成的直線稱為基線。基線聲學式定位採用空間後方交會法的原理，與衛星定位的原理類似，如圖 13 所示。

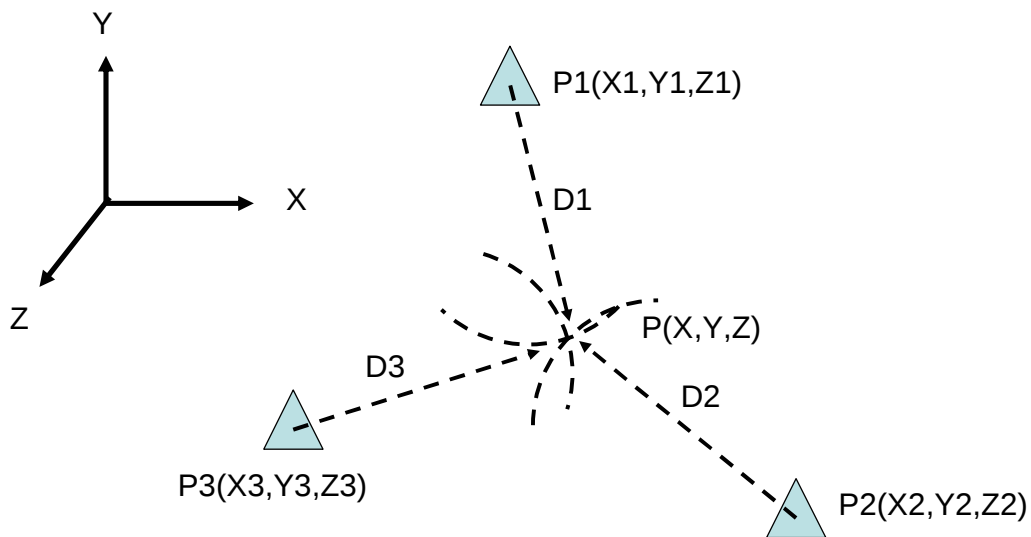


圖 13 水下定位原理示意圖

依基線的長短，水下聲學的定位方式可分：

1. 長基線聲學定位(Long Baseline Acoustic System ; LBL)

如圖 14 所示，基線距離可長達數公里，收發器固定於水下（或水面）載具上，應答器($P1, P2, P3$)則固定在已知位置的海床上，利用各點量得的斜距可求得 P 點的位置。

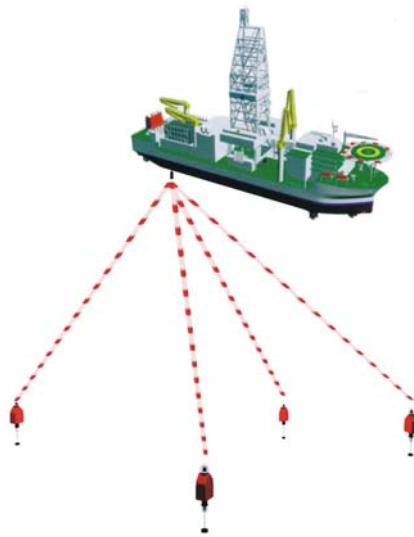


圖 14 長基線聲學定位(LBL)示意圖

2. 短基線聲學定位(Short Baseline Acoustic System；SBL)

如圖 15 所示，收發器固定在船隻底部，基線距離約 5~20 公尺。由於基站位置隨著船隻運動變化，除了需要進行船隻載具定位的修正之外，船隻載具的姿態(heave, roll, pitch, yaw)亦需修正。



圖 15 短基線聲學定位(SBL)示意圖

3. 超短基線聲學定位(Ultra Short Baseline Acoustic System ; USBL)

如圖 16 所示，基線距離非常短，僅有數公分至數十公分。因基線距離過短，已經不適用時間差的測量原理，其定位方法採用相位差的計算原理。



圖 16 超短基線聲學定位(SSBL)示意圖

原則上，基線距離越長(P1,P2,P3 之間的距離)則定位精度越高，所以與其它基線系統比較起來，長基線定位系統可以獲得最精確的定位。不過，長基線定位系統的佈放、回收、以及每一個海床應答器的定位資料收集，需要花費很久的作業時間。相對而言，超短基線的定位比較不準確，可是具備安裝簡便、作業省時的優點，因此本研究選擇超短基線系統作為水下目標物的定位方法，進一步探討其定位精度。

超短基線系統之元件包含：收發器(transceiver)、應答器(transponder/responder)及控制器(computer or topside unit)。其中收發器包含三個以上分隔數公分基線(baseline)的音鼓陣列(transducer array)，通常固定於船底(hull-mounted)或船隻左右舷(side-mounted)，而應答器則安置於海床上、拖魚(towfish)或水下載具(如 ROV、AUV)，控制器則是利用收發器所量測得到之距離(range)與方位角(bearing)來計算應答

器所在之位置。收發器會傳送一聲學脈波(acoustic pulse)，當海下之應答器偵測到此脈波後會以特定的聲學脈波回覆。此回覆之脈波被收發器接收到之後，由發射到接收所歷經的時間可以換算成傳播距離(range)，而利用音鼓陣列收訊的相位差(phase-differencing)則可以計算收發器至水下應答器之方位角。

4.2 超短基線定位系統之對準偏差校正演算

本研究從探討 pitch、roll、heading 三個角度的對準偏差對於應答器定位的影響著手，從而建立對準偏差校正程序，並發展出偏離航跡誤差校正的程序與方法。

4.2.1 對準偏差之定位效應

圖 17 定義了船隻直線航行之幾何參數與座標系統，其中虛線代表船的直線航跡。為了便於公式推導，我們定義了三個座標系統，其中 $O_G X_G Y_G Z_G$ 和 $O_a X_a Y_a Z_a$ 都是大地固定座標系統，不過 $O_a X_a Y_a Z_a$ 的原點位於底碇應答器正上方的水面，而 $O_s X_s Y_s Z_s$ 為姿態感測器參考座標系統。在圖 17 中，參數 d 代表應答器與船行航線的水平距離， θ 代表船艏向，而座標 (d, L) 表示原點 O_s 相對於原點 O_a 的位置。為了評估對準偏差對於應答器定位的影響，我們定義了一個附隨於收發器的座標系統 $O_t X_t Y_t Z_t$ 。其中， α 、 β 、 γ 分別代表 heading、pitch、roll 的對準偏差角度。根據上定義的座標系統與參數，我們推導出以下的座標轉換矩陣：

$$\mathbf{T}_{sa}(d, L, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & -d \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & -L \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

$$\mathbf{T}_{ts}(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

$$\mathbf{T}_{ts}(\beta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

$$\mathbf{T}_{ts}(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & -\sin \gamma & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \gamma & 0 & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

其中， T_{ij} 表示由座標系統 j 轉換至座標系統 i 的轉換矩陣，而 $T_{ts}(\alpha)$ 、 $T_{ts}(\beta)$ 、 $T_{ts}(\gamma)$ 分別表示存在 heading、pitch、roll 對準偏差下的轉換矩陣。

令海床應答器在 $O_G X_G Y_G Z_G$ 座標系統下的為向量為 P_T ：

$$\mathbf{P}_T = [P_{Tx}, P_{Ty}, P_{Tz}, 1]^T \dots\dots\dots (5)$$

P_T 可以利用聲學斜距量測與 GPS 定位技術精準估算出來(Chen and Wang, 2007)。因此，應答器在 $O_a X_a Y_a Z_a$ 座標系統下的位置向量可以表示如下：

$$\mathbf{P}_a = [0, 0, P_{Tz}, 1]^T \dots\dots\dots (6)$$

若沒有對準偏差， $O_t X_t Y_t Z_t$ 和 $O_s X_s Y_s Z_s$ 座標系統會彼此重合。所以在沒有對準偏差的情況下，收發器量得的應答器位置向量在 $O_t X_t Y_t Z_t$ 座標系統下可表示為：

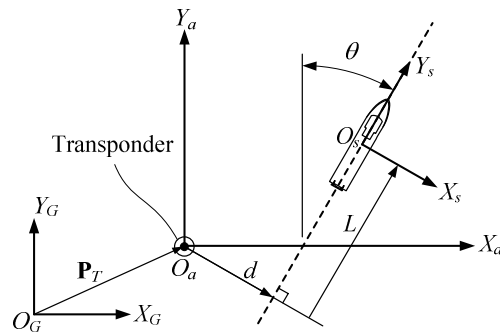
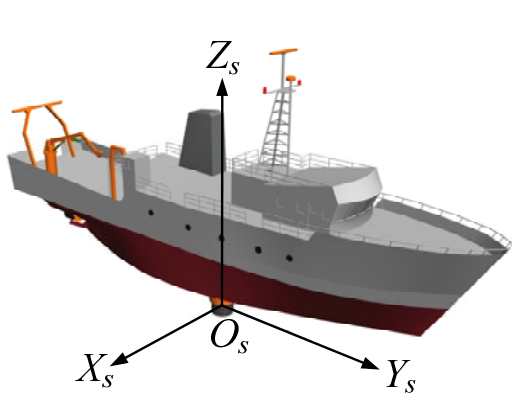
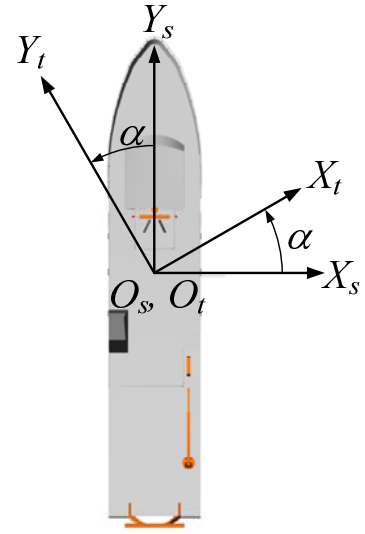


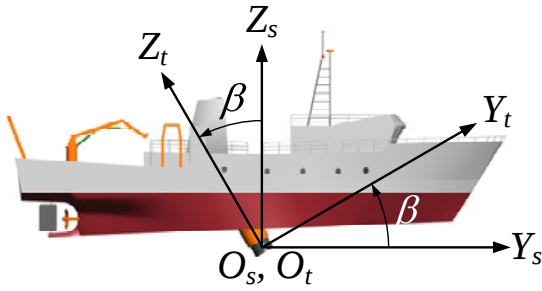
圖 17 座標系統定義



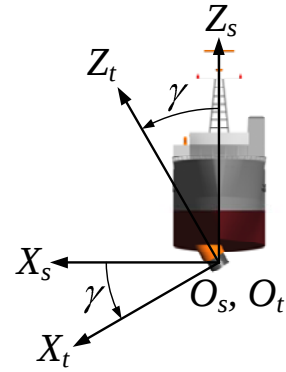
(a) 感測器座標



(b) Heading 對準偏差



(c) Pitch 對準偏差



(d) Roll 對準偏差

圖 18 角度對準偏差定義

$$\mathbf{P}_t = \mathbf{P}_s = \mathbf{T}_{sa}(d, L, \theta) \mathbf{P}_a = \begin{bmatrix} -d \\ -L \\ P_{Tz} \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

當存在 heading 對準偏差 α 時，收發器量得的應答器位置向量在 $O_t X_t Y_t Z_t$ 座標系統下變成：

$$\mathbf{P}_t^\alpha = \mathbf{T}_{ts}(\alpha) \mathbf{T}_{sa}(d, L, \theta) \mathbf{P}_a = \begin{bmatrix} -d \cos \alpha - L \sin \alpha \\ d \sin \alpha - L \cos \alpha \\ P_{Tz} \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

其上標 α 代表 heading 對準偏差。同樣地，當存在 pitch 對準偏差 β 和存在 roll 對準偏差 γ 時，收發器量得的應答器位置向量在 $O_t X_t Y_t Z_t$ 座標系統下分別表示如下：

$$\mathbf{P}_t^\beta = \begin{bmatrix} -d \\ -L \cos \beta + P_{Tz} \sin \beta \\ L \sin \beta + P_{Tz} \cos \beta \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (9)$$

$$\mathbf{P}_t^\gamma = \begin{bmatrix} -d \cos \gamma - P_{Tz} \sin \gamma \\ -L \\ -d \sin \gamma + P_{Tz} \cos \gamma \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (10)$$

將式(8)~(10)分別與式(7)比較，可以發現 heading 對準偏差對於應答器的深度量測並沒有影響，而 pitch 對準偏差對於應答器的 X_t 座標量測沒有影響，至於 roll 對準偏差則對於應答器的 Y_t 座標量測沒有影響。此外，我們也發現了以下現象：

1. 即使有對準偏差存在，應答器相對於收發器的定位軌跡也是一條直線。
2. 由式(8)位置向量 $\mathbf{P}_t^\alpha$ 的 X_t 和 Y_t 分量可知，應答器在 X_t - Y_t 平面的定位軌跡為：

$$Y_t = X_t \cot \alpha + \frac{d}{\sin \alpha} \dots\dots\dots (11)$$

換句話說，在 d 為常數的情況下，應答器在 X_t - Y_t 平面的定位軌跡斜率為 $\cot \alpha$ 。

3. 由式(9)位置向量 $\mathbf{P}_t^\beta$ 的 Y_t 和 Z_t 分量可知，應答器在 Y_t - Z_t 平面的定位軌跡為：

$$Z_t = -Y_t \tan \beta + \frac{P_{Tz}}{\cos \beta} \dots\dots\dots (12)$$

從式(12)可知，應答器在 Y_t - Z_t 平面的定位軌跡斜率為 $-\tan\beta$ 。

4. Roll 對準偏差並不會對應答器的定位軌跡斜率產生影響，不過會產生 X_t 和 Z_t 座標的量測誤差。根據式(10)可知，roll 對準偏差可以由以下兩式分別求得：

$$X_t = -d \cos \gamma - P_{Tx} \sin \gamma \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$Z_t = -d \sin \gamma + P_{Tx} \cos \gamma \quad \dots\dots\dots (14)$$

4.2.2 校正演算法

根據上述應答器定位軌跡的特性，我們發展了一套超短基線定位系統之感測器對準偏差校正程序。其程序與相關的公式推導如下：

1. 由於應答器在 X_t - Y_t 平面的定位軌跡斜率主要受到 heading 對準偏差的影響，所以 heading 對準偏差 α 可以約略從 X_t - Y_t 平面的定位軌跡斜率估算出來。令應答器在 X_t - Y_t 平面的定位軌跡斜率為 m_{xy} ，由式(11)可以估算 heading 對準偏差 α 為：

$$\alpha = \cot^{-1}(m_{xy}) \quad \dots\dots\dots (15)$$

一旦估算出 α 之後，便利用此估算的 α 值立即修正應答器的定位軌跡。

2. 假設應答器的定位軌跡已完全修正了 heading 對準偏差的影響，僅有 pitch 和 roll 對準偏差會影響應答器定位軌跡。在有 pitch 和 roll 對準偏差情況下，只有 pitch 對準偏差會影響應答器在 Y_t - Z_t 平面定位軌跡的斜率。因此，令應答器在 Y_t - Z_t 平面定位軌跡的斜率為 m_{yz} ，由式(12)可以估算 pitch 對準偏差 β 為：

$$\beta = -\tan^{-1}(m_{yz}) \quad \dots\dots\dots (16)$$

估算出 β 之後，便需利用估算的 α 與 β 值立即修正應答器的定位軌跡。

3. 一旦應答器的定位軌跡做了 α 與 β 對準偏差的修正之後，roll 對準偏

差便可利用式(13)或(14)估算出來。

4. 特別注意的是，上述每一個對準偏差值的估算，都是在假設其他對準偏差已經完成校正的條件下進行的。然而，這個理想條件通常不成立。因此，必須重複上述步驟(a)~(c)，直到三個對準偏差角度的估算值都收斂為止。

圖 19 為上述建構的對準偏差校正演算法，此演算法從佈放海底應答器著手。接著，操縱船隻於應答器上方航行兩條直線測線，以收集聲學斜距量測與 GPS 定位資料，然後利用聲學斜距量測與 GPS 定位技術估算出應答器的位置(Chen and Wang, 2007)。最後，取任一條直線測線所收集的資料並計算該測線與應答器的水平距離 d ，用以估算感測器對準偏差角度。

在接下來的迭代計算程序裡，首先令 heading、pitch、roll 的起始猜測值為零，亦即 $\alpha^{(0)} = \beta^{(0)} = \gamma^{(0)} = 0$ 。在每次的迭代運算中，都會計算出 α 、 β 、 γ 的增量 $(\Delta\alpha, \Delta\beta, \Delta\gamma)$ ，而估算的 α 、 β 、 γ 值就必須隨時更新：

$$\begin{cases} \alpha^{(k)} = \alpha^{(k-1)} + \Delta\alpha \\ \beta^{(k)} = \beta^{(k-1)} + \Delta\beta \\ \gamma^{(k)} = \gamma^{(k-1)} + \Delta\gamma \end{cases}, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (17)$$

其中 k 表示迭代次數。迭代運算會持續到 α 、 β 、 γ 皆收斂為止。此外，每次迭代估算出 α 、 β 或是 γ 值之後，必須利用估算出的對準偏差值來修正應答器位置，其公式如下：

$$\mathbf{P}_s^c = \mathbf{T}_{ts}(-\alpha)\mathbf{T}_{ts}(-\beta)\mathbf{T}_{ts}(-\gamma)\mathbf{P}_t^m \quad (18)$$

其中，收發器量得應答器在 $O_tX_tY_tZ_t$ 座標系統下的位置向量，對準偏差修正後的應答器位置向量。

4.2.3 偏離航跡誤差修正

上述建構之校正演算法是在船隻可以完全依循預設的直線測線航行的條件下推演出來的，然而在受到外力環境的干擾下，船隻幾乎不

可能依循直線航行。不是沿直線航行所收集的應答器定位資料，其應答器相對於收發器的軌跡也不會是直線，所以估算出來的斜率便可能獲得不正確的結果。因此，在進行對準偏差角度估算之前，必須進行偏離航跡誤差修正。

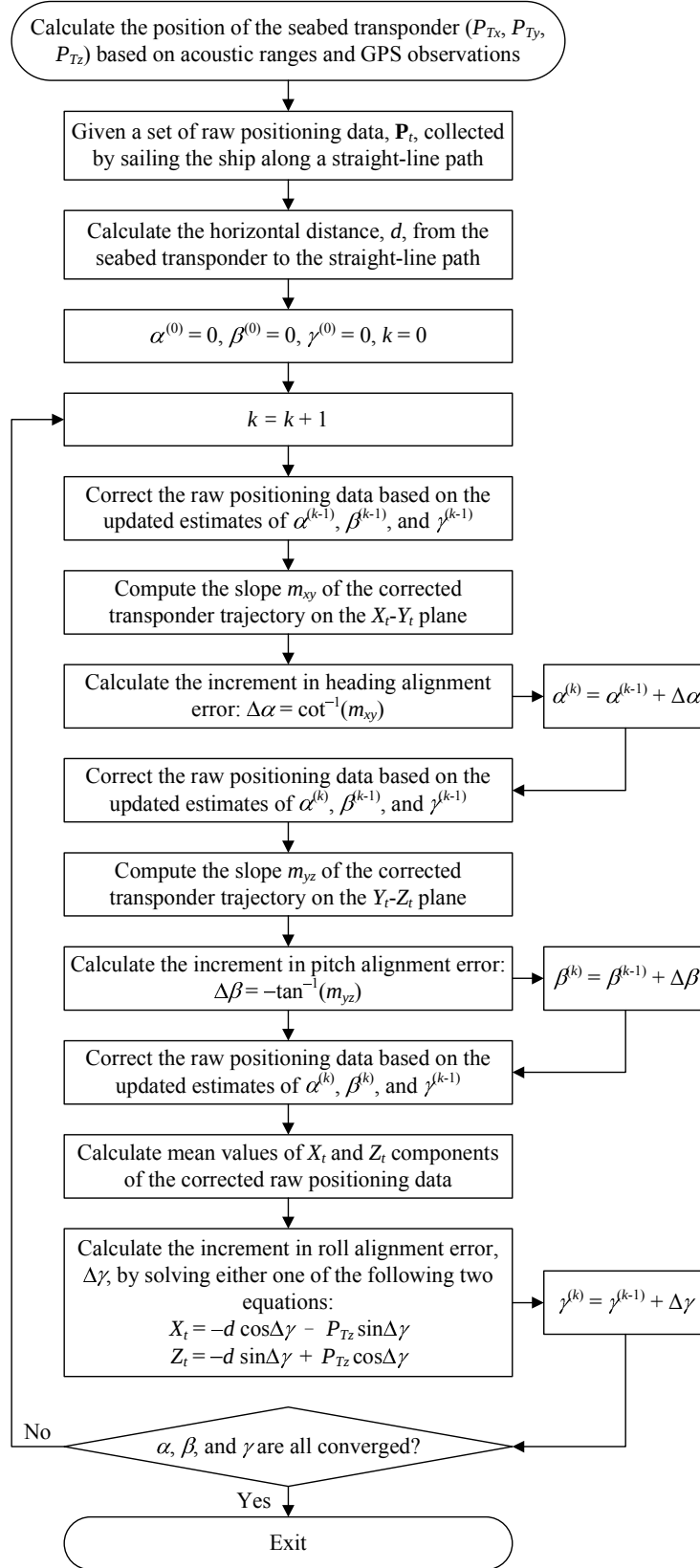


圖 19 超短基線定位之對準偏差演算流程

偏離航跡誤差修正可以從船行軌跡的線性迴歸處理來著手，如圖 20 所示。其中，實線代表實際的船行軌跡，而虛線代表船行軌跡的近似直線。當收發器位於非直線航跡上，所收集的應答器定位資料必須利用將收發器移回預設直線軌跡來修正。如圖 20 所示，令收發器的絕對平面座標位置為 $O_t(x_G, y_G)$ ，航跡近似直線的航向為 θ ， $A(x_o, y_o)$ 為近似直線上任意一點，而 $B(x_c, y_c)$ 為近似直線與 X_t 軸的交點。由於收發器的位置必須由 O_t 偏移至 B 點，所以必須先求出 B 點的座標。令 B 點至 O_t 的位置向量為 r_G ：

$$r_G = \begin{bmatrix} x_G - x_c \\ y_G - y_c \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (19)$$

根據幾何特性 $\overrightarrow{BA} \cdot r_G = 0$ ，我們可以得到以下關係式：

$$\begin{cases} \tan \theta = \frac{x_o - x_c}{y_o - y_c} \\ \overrightarrow{BA} \cdot r_G = (x_o - x_c)(x_G - x_c) + (y_o - y_c)(y_G - y_c) = 0 \end{cases} \dots\dots\dots (20)$$

因此得到式(20)的解析解如下：

$$\begin{cases} y_c = \frac{x_G \tan \theta + y_o \tan^2 \theta - x_o \tan \theta + y_G}{1 + \tan^2 \theta} \\ x_c = x_o - (y_o - y_c) \tan \theta \end{cases} \dots\dots\dots (21)$$

將式(21)帶入式(19)便可以求解 r_G 。由於 r_G 是在 $O_G X_G Y_G Z_G$ 座標系統下的位置向量，要修正應答器相對於收發器的位置向量，必須將 r_G 轉換至 $O_t X_t Y_t Z_t$ 座標系統：

$$r_t = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_G - x_c \\ y_G - y_c \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (22)$$

將式(21)代入式(22)，便可以求得 $\mathbf{r}_t$ 位置向量如下：

$$\mathbf{r}_t = \begin{bmatrix} (x_G - x_c) \cos \theta - (y_G - y_c) \sin \theta \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (23)$$

如圖 20 所示，一旦收發器由 O_t 偏移至 B 點， $\mathbf{P}'_t$ 取代便成為收發器量得應答器的位置向量，其表示如下：

$$\mathbf{P}'_t = \mathbf{r}_t + \mathbf{P}_t$$

$$= \begin{bmatrix} P_{tx} + (x_G - x_c) \cos \theta - (y_G - y_c) \sin \theta \\ P_{ty} \\ P_{tz} \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (24)$$

其中， P_{tx} 、 P_{ty} 、 P_{tz} 表示位置向量 $\mathbf{P}_t$ 在 X_t 、 Y_t 、 Z_t 各方向的分量。

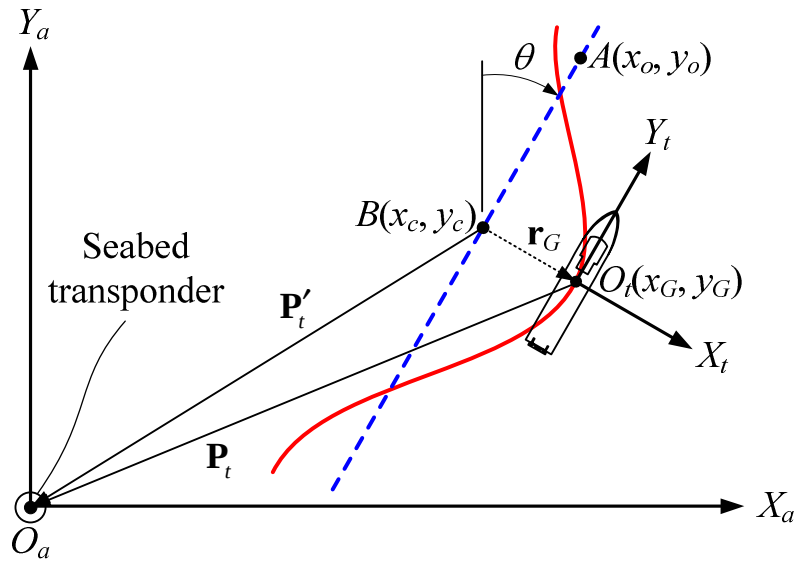


圖 20 偏離航跡誤差修正之參數定義

4.3 實海域定位量測資料之對準偏差校正

利用上述所發展之對準偏差校正演算法，本研究透過實海域蒐集之資料進行分析，以驗證此一演算法的可行性。

4.3.1 實海域量測

實海域量測資料是在高雄外海所收集的海床應答器定位資料，使用的是一般商用超短基線定位系統。應答器透過錨碇串列被佈放於水深約 230 公尺的海底(圖 21)，作業日期：民國 95 年 3 月 27 日，使用的儀器還包括 GPS、電羅經、運動感測器。圖 22 為蒐集定位資料時的船行軌跡，將之分為 L1-L8 共八個線段。這八條測線所量測到的應答器位置如圖 23 所示，圖 23 清楚顯示在沒有進行對準偏差校正之前，量得的應答器位置四散於真正應答器位置四周。在資料收集期間，也透過 CTD 量測來獲得水層聲速剖面，其結果如圖 24 所示。根據此一水層聲速剖面、聲學斜距量測、以及 GPS 定位，推算出應答器的絕對座標位置為(157526.34, 2498124.98, -230.42) m，如圖 22 與圖 23 所示。

在利用發展出的演算法估算對準偏差之前，必須進行偏離航跡誤差修正。以 L7 測線之應答器定位資料為例，圖 25 顯示了該測線定位資料之偏離航跡誤差修正結果。從圖 25 可以看出，修正之前應答器軌跡的扭曲程度，經過偏離航跡誤差修正之後有顯著的改善。

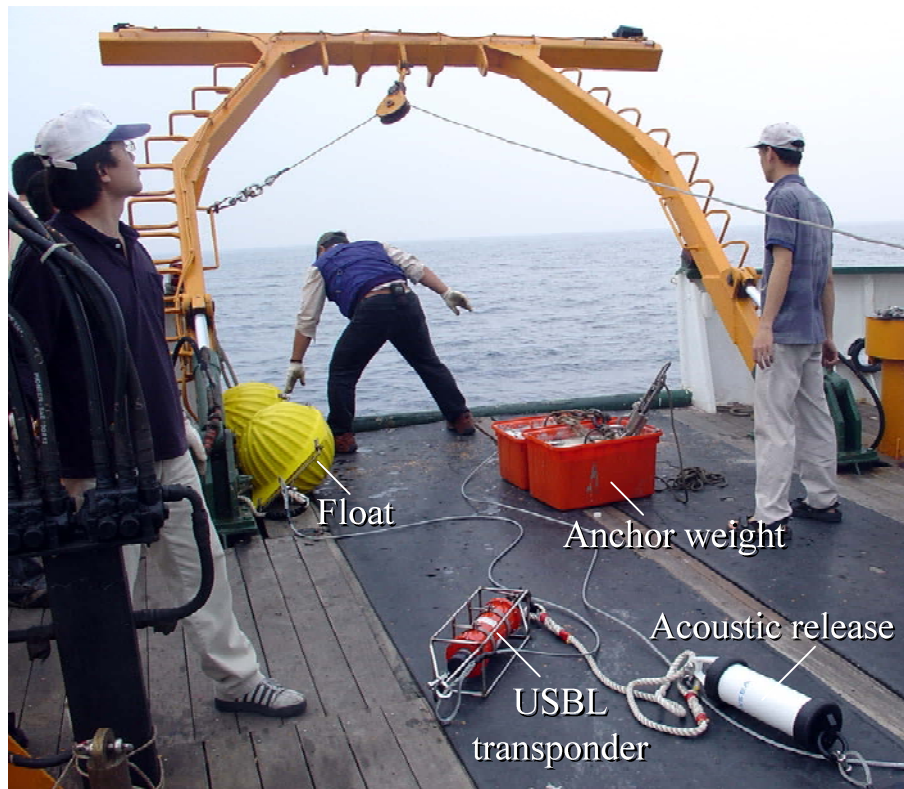


圖 21 佈放應答器錨碇串列

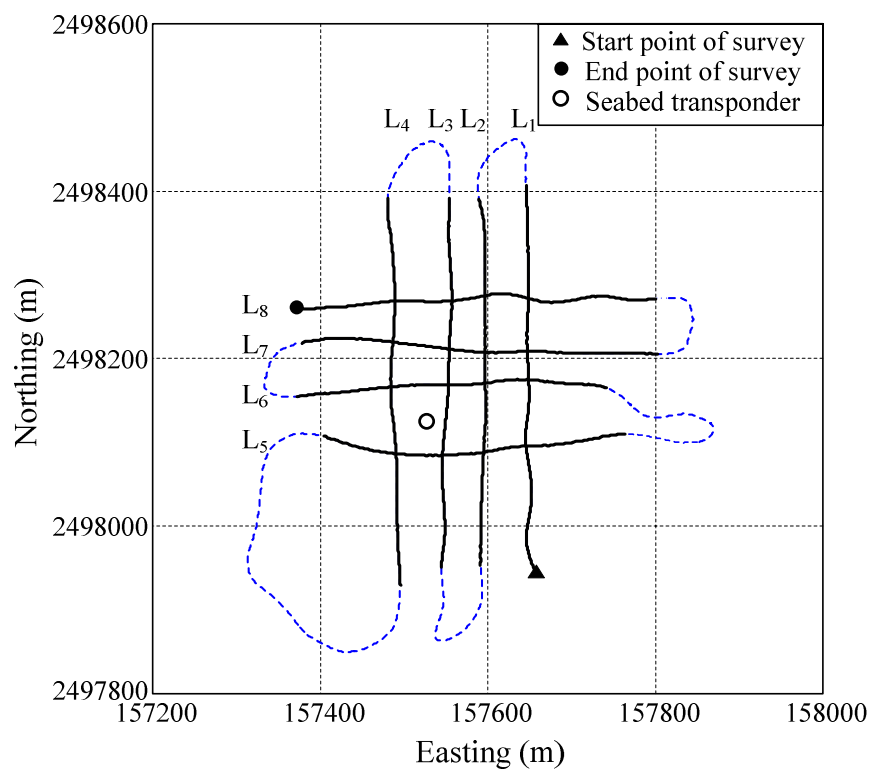


圖 22 船行軌跡被劃分為 L1~L8 八條線段

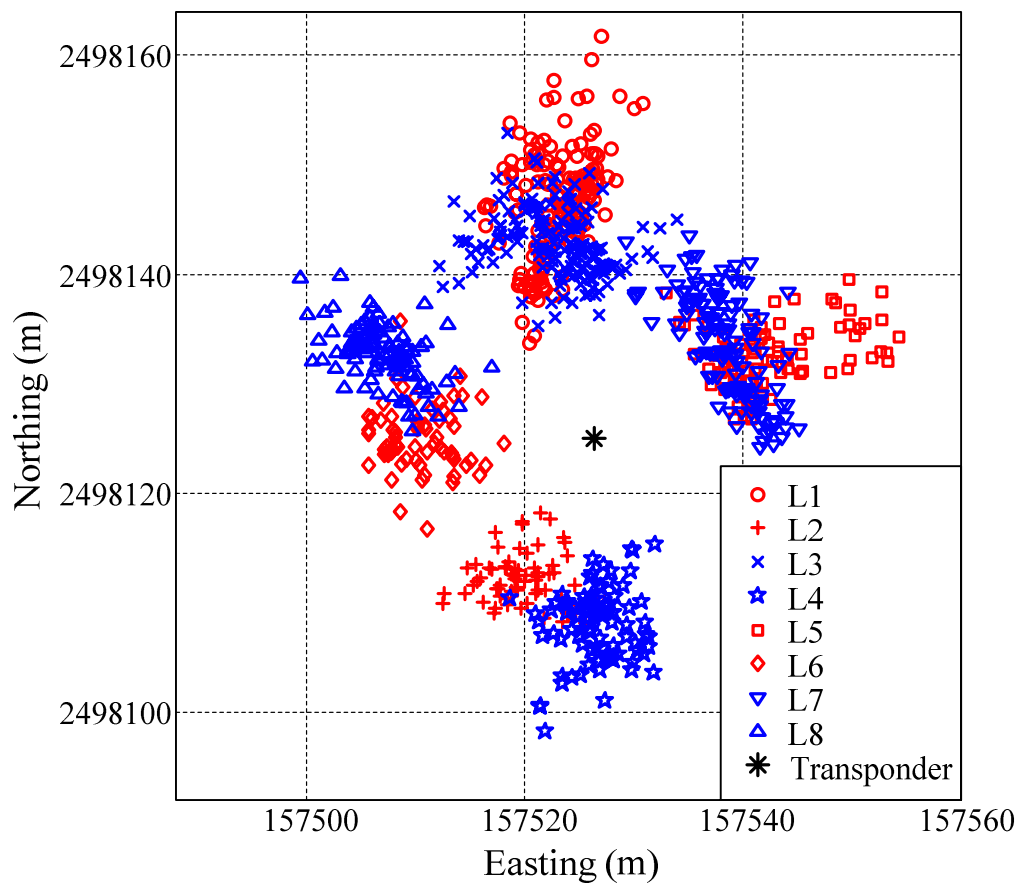


圖 23 收發器量得的應答器位置

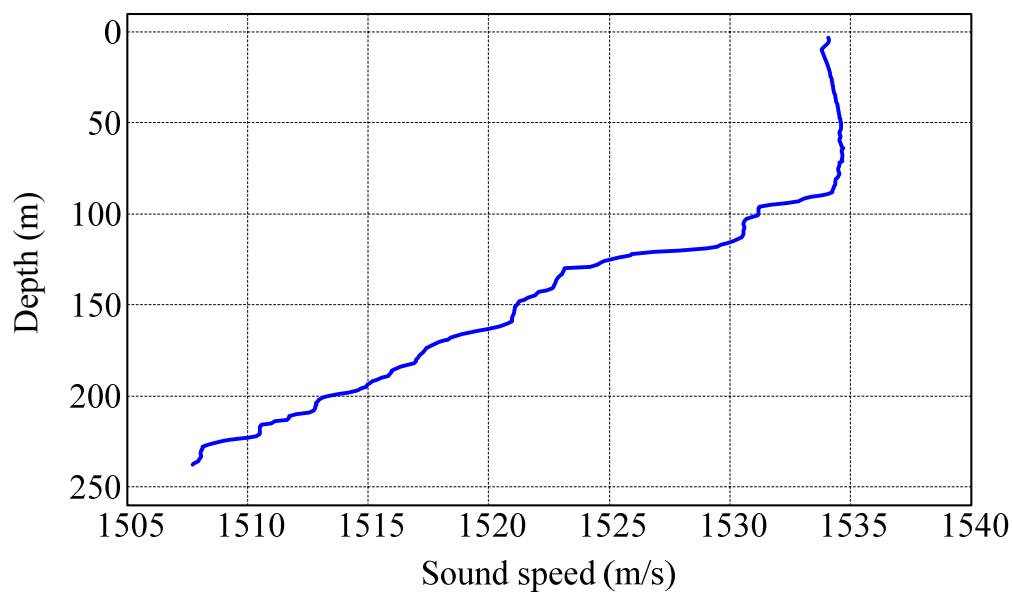
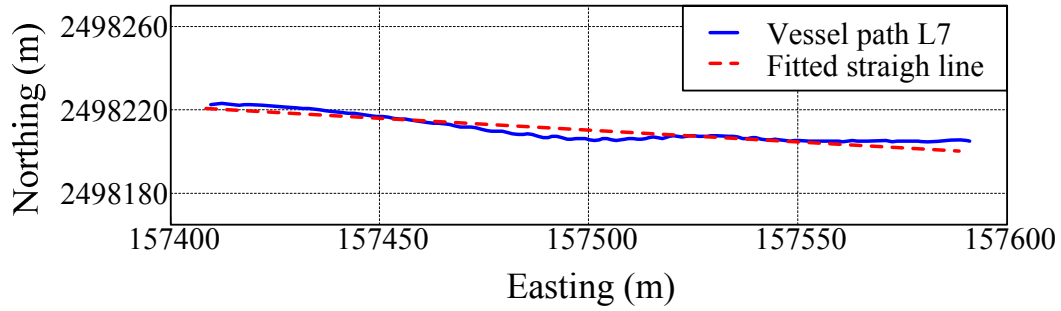
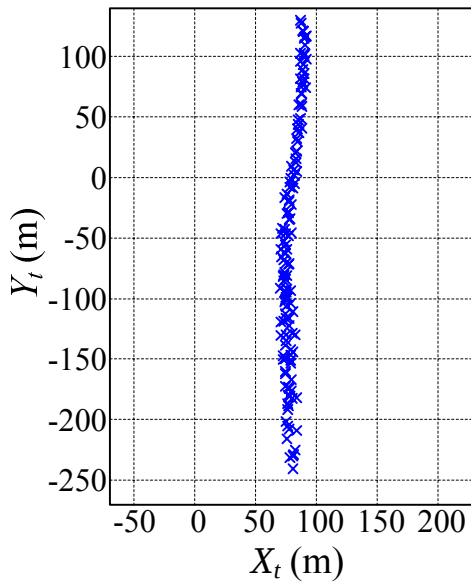


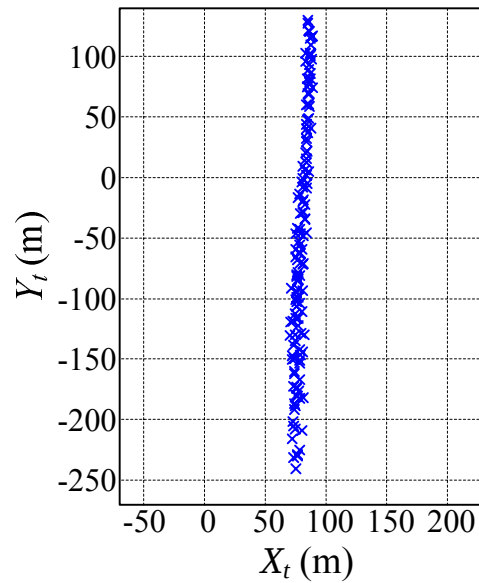
圖 24 由 CTD 量測所推算之水層聲速剖面



(a) L7 船行航跡與其近似直線



(b) 原始資料



(c) 偏離航跡誤差修正

圖 25 L7 測線之應答器定位資料進行偏離航跡誤差修正

4.3.2 對準偏差迭代估算

偏離航跡誤差修正之後，接著便進行對準偏差角度的迭代估算。以 L7 測線之應答器定位資料為例，以下說明三個對準偏差角度在首次迭代運算中的計算過程：

1. Heading 對準偏差估算

圖 26(a)顯示了經過偏離航跡誤差修正之後的應答器定位資料，利用最小平方近似可求得此一資料的近似直線，如圖 26 (a)的實線所示。此一近似直線在 X_t - Y_t 平面的斜率為 $m_{xy} = 25.53$ ，因此，根據式 (15)可以求得 heading 對準偏差為 $\alpha = 2.24^\circ$ 。將應答器定位資料進

行 $\alpha=2.24^\circ$ 的角度偏差修正，修正後的應答器定位資料如圖 26 (b)所示，其近似直線在 X_t - Y_t 平面的斜率增加為 759.3。

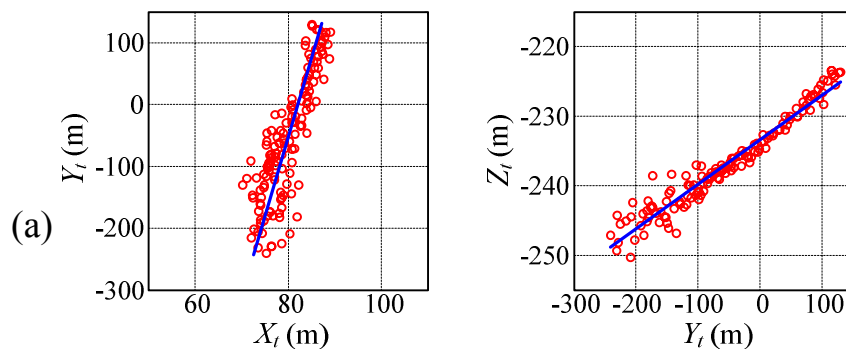
2. Pitch 對準偏差估算

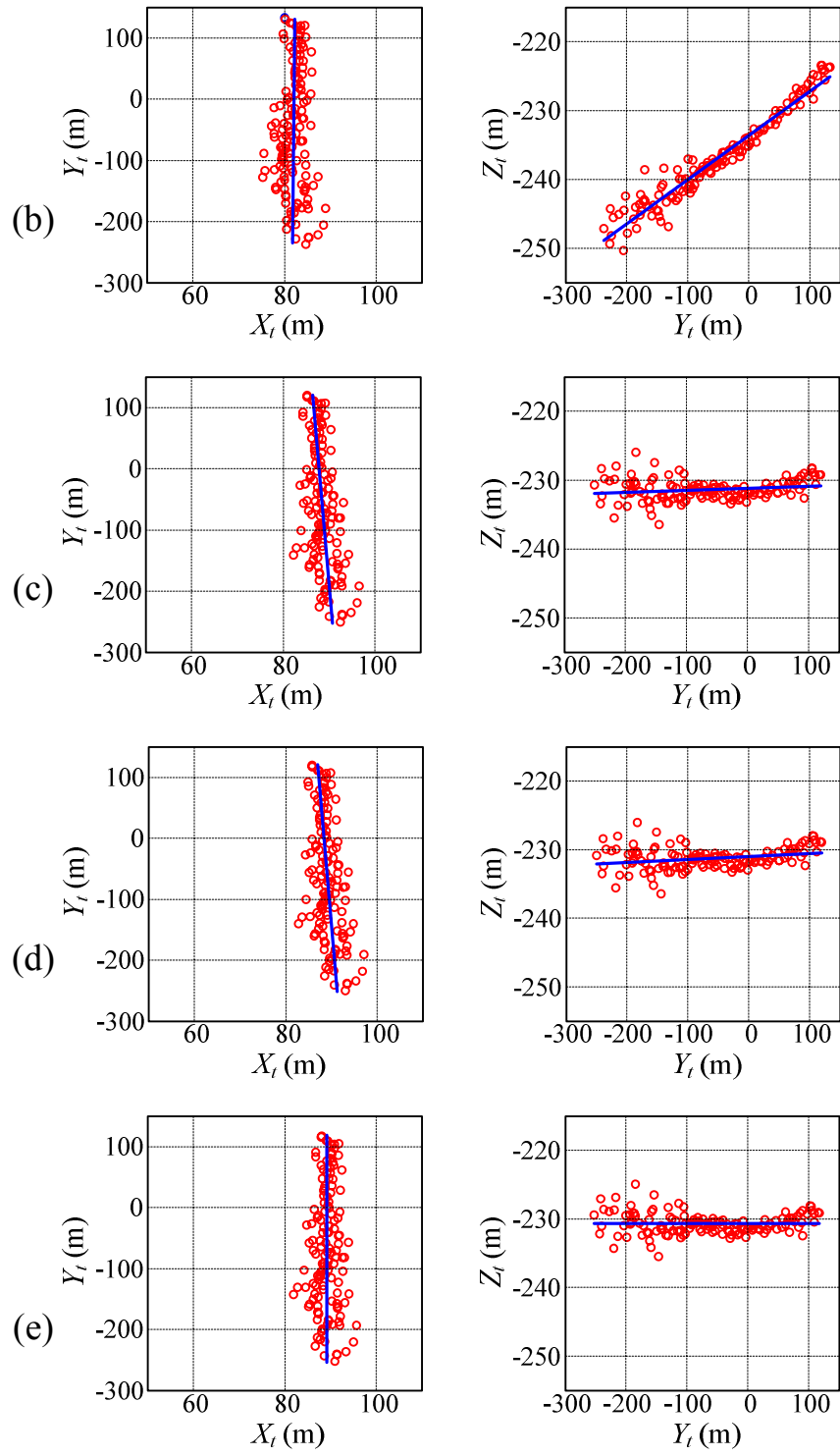
由圖 26 (b)所示，應答器定位資料在 Y_t - Z_t 平面的近似直線斜率為 $m_{yz}=0.064$ 。利用式(16)運算，可以估算出 pitch 對準偏差角度為 $\beta=-3.67^\circ$ 。將應答器定位資料進行 $\alpha=2.24^\circ$ 與 $\beta=-3.67^\circ$ 的角度偏差修正，修正後的應答器定位資料如圖 26 (c)所示，其近似直線在 Y_t - Z_t 平面的斜率變得更為平緩。

3. Roll 對準偏差估算

由式(13)可知，roll 對準偏差角度可以由 P_{Tz} 、 X_t 、 d 求得，其中 P_{Tz} 為應答器絕對座標位置的 Z_G 分量，其值為 -230.42 m。由於應答器定位軌跡之 X_t 分量不太可能是一個固定值，所以本研究直接以其平均值來取代，亦即 $X_t=88.6$ m。此外， d 為應答器絕對座標位置至 L7 航跡近似直線的最短距離，其值為 $d=-89.25$ m。將 $P_{Tz}=-230.42$ 、 $X_t=88.60$ 、 $d=-89.25$ 代入式(13)，可以估算出 $\gamma=-0.16^\circ$ 。將應答器定位資料進行 $\alpha=2.24^\circ$ 、 $\beta=-3.67^\circ$ 與 $\gamma=-0.16^\circ$ 的角度偏差修正，修正後的應答器定位資料如圖 26 (d)所示。

同樣的計算程序重複多次之後，三個角度的估算值便會漸漸收斂。圖 26(f) 為三個對準偏差角度在十次迭代運算的收斂狀況，





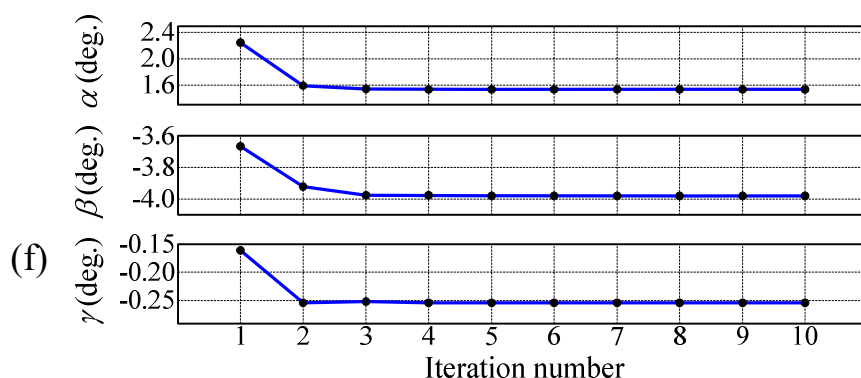


圖 26 利用 L7 測線資料進行對準偏差估算的結果

其中圓圈代表應答器定位資料，實線代表定位資料之近似直線。(a) 經過偏離航跡誤差修正之後的應答器定位資料。(b) 經過 $\alpha = 2.24^\circ$ 修正後的應答器定位資料。(c) 經過 $\alpha = 2.24^\circ$ 與 $\beta = -3.67^\circ$ 修正後的應答器定位資料。(d) 經過 $\alpha = 2.24^\circ$ 、 $\beta = -3.67^\circ$ 與 $\gamma = -0.16^\circ$ 修正後的應答器定位資料。(e) 經過十次迭代運算修正後的應答器定位資料。(f) 三個偏差角度的迭代運算收斂情況。

其應答器定位修正結果如圖 26 (f)所示。從此一結果可以清楚看出，迭代運算的收斂速度非常快，僅需幾次運算便能獲得穩定的收斂效果。

同樣地，三個對準偏差角度也可以利用其他航跡所收集的定位資料估算出來，其結果如表 4 所示。從表 4 可以看出，這三個角度的估算標準差非常小，展現此一演算法的強健性(Robustness)。利用這三個角度的估算平均值 $\alpha = 0.66^\circ$ 、 $\beta = -4.46^\circ$ 、 $\gamma = -0.14^\circ$ 來修正應答器的定位資料，其結果如圖 27 所示。從圖 27 可以看出，對準偏差修正後之應答器資料明顯集中分佈於真正應答器位置的四周。

圖 27 的(x, y, z)座標定位精度(1σ)，在對準偏差補償前為(11.3, 13.0, 9.2)公尺，補償後為(3.5, 3.9, 2.5)公尺。

表 4 各航跡收集定位資料所估算出三個對準偏差角度

Survey path	α	β	γ
L1	0.18°	-5.26°	-0.12°
L2	2.27°	-4.16°	-0.31°
L3	1.22°	-4.21°	-0.15°
L4	0.04°	-3.91°	-0.69°
L5	0.74°	-5.08°	1.09°
L6	0.06°	-3.76°	-1.02°
L7	1.53°	-3.98°	-0.25°
L8	-0.79°	-5.29°	0.37°
Mean	0.66°	-4.46°	-0.14°
Std.dev. (σ)	0.98°	0.64°	0.64°

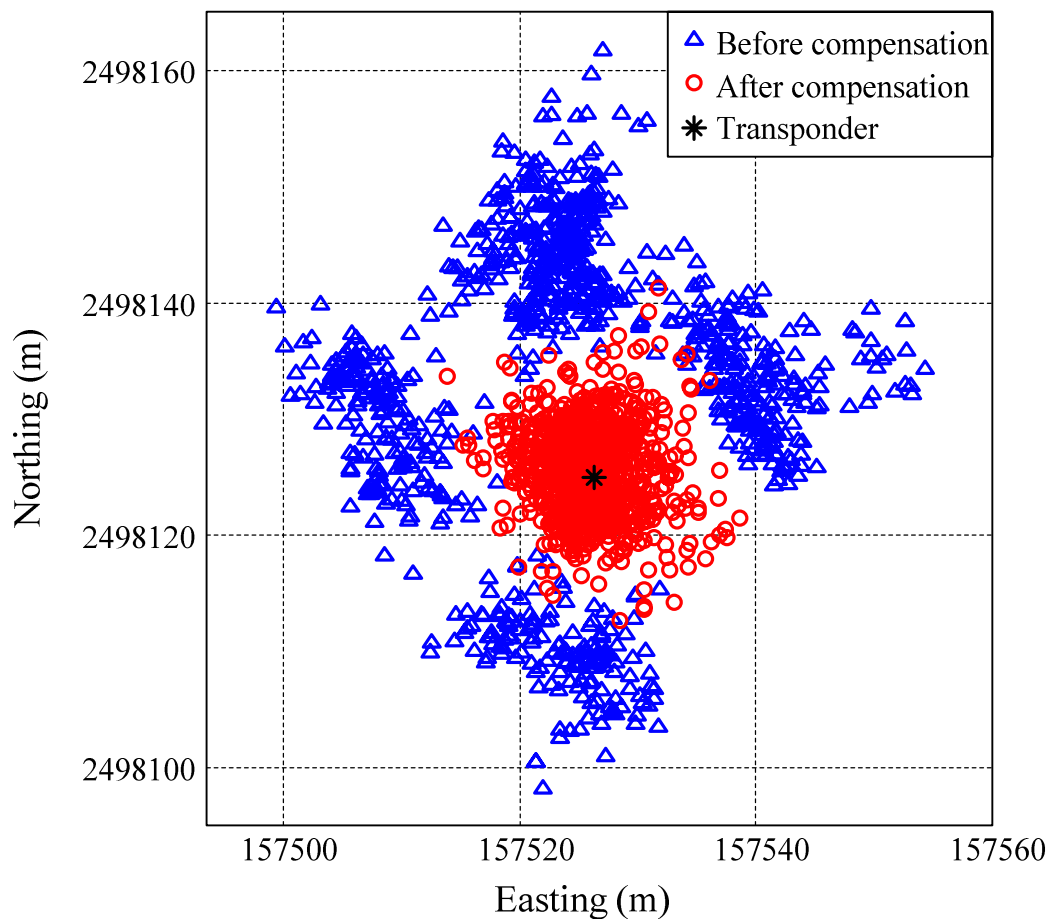
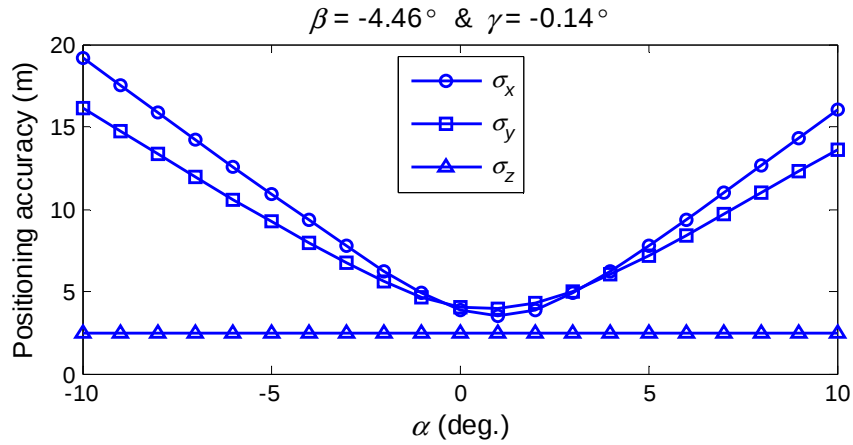
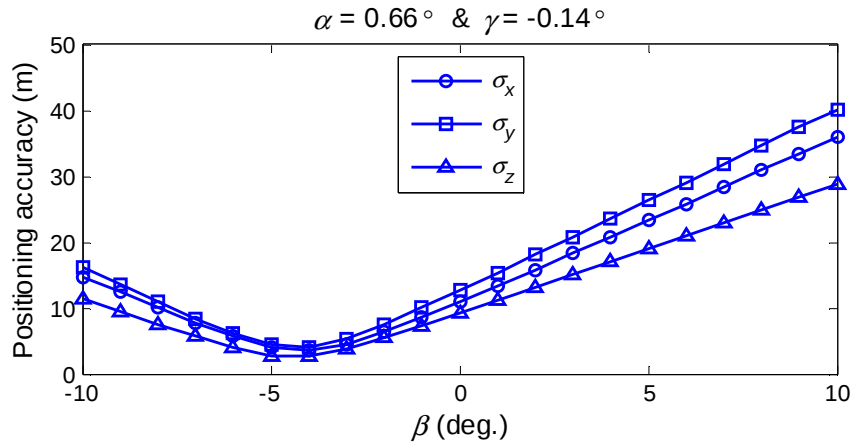


圖 27 對準偏差角度修正前與修正後之應答器定位資料

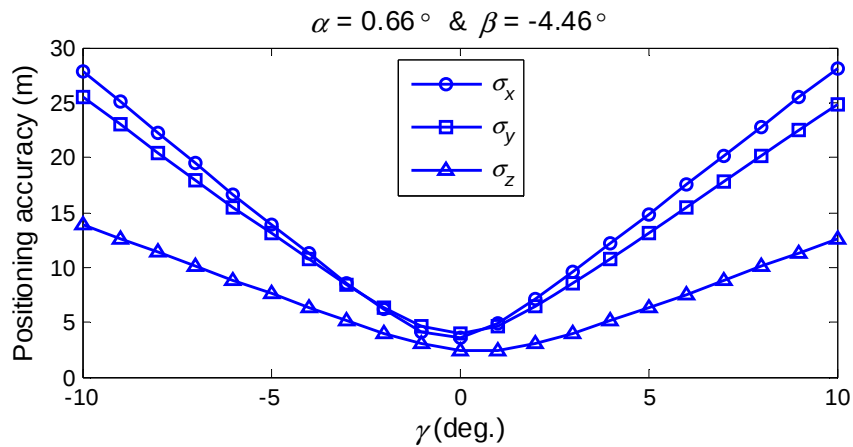
4.3.3 由 α 、 β 、 γ 的單位角度直接反推偏差角度的判視成功率



(a) 橫擺對準偏差 (α) 對定位精度的影響



(b) 縱搖對準偏差 (β) 對定位精度的影響



(c) 橫搖對準偏差 (γ) 對定位精度的影響

圖 28 對準偏差角度變化對應答器定位精度的影響

根據最佳化方法估算的三個對準偏差角度值分別為 $\alpha = 0.06^\circ$ 、 $\beta = -4.46^\circ$ 、 $\gamma = -0.14^\circ$ ，若固定其中兩個偏差角度估測值，藉由改變另一個偏差角度參數值便可以瞭解該參數對應答器定位精度的影響，同時也可以進一步驗證最佳化方法求解的可信度。例如，在 $\beta = -4.46^\circ$ 以及 $\gamma = -0.14^\circ$ 情況下， α 在不同估計值下對應答器定位誤差的影響如圖 28 (a)所示。由圖 28(a)可以看出，當 α 接近最佳化方法的估測值 (0.06°) 時， X_G 與 Y_G 座標的應答器定位誤差達到最小。此外， α 值對於應答器的 Z_G 座標定位並沒有影響，此一特性與理論推導的發現一致。當 $\alpha = 0.66^\circ$ 以及 $\gamma = -0.14^\circ$ 情況下，圖 28 (b) 顯示了 β 在不同估計值下對應答器定位誤差的影響，而且當 β 接近最佳化方法的估測值 (-4.46°) 時，應答器在各座標的定位誤差可以達到最小。同樣地，在 $\alpha = 0.66^\circ$ 以及 $\beta = -4.46^\circ$ 情況下，圖 28 (c) 顯示了 γ 在不同估計值下對應答器定位誤差的影響，而且當 γ 接近最佳化方法的估測值 (-0.14°) 時，應答器在各座標的定位誤差達到最小。

4.4 超短基線系統之水下定位精度量測分析結果

為進一步探討超短基線定位系統對水下目標物的定位精度，本研究選擇於三種不同水深（約為 30 m、70 m、110 m）佈放底碇應答器，作業日期分別為民國 98 年 8 月 28 日、民國 98 年 10 月 13 日及民國 98 年 8 月 26 日，在對準偏差校正演算之輔助下，測試超短基線定位系統的定位精度。

1. 超短基線定位系統

本研究使用之定位系統主要包含超短基線聲學定位系統、運動感測器、以及全球衛星定位系統，其規格如表 5 所示。進行水下定位量測時，必須將超短基線應答器固定於海底，因此，本研究將應答器安裝於底碇架上，如圖 29 所示。底碇架上共安裝三個應答器，分別標示為 Transponder 1、Transponder 2、Transponder 3，這三個應答器之間的距離如表 6 所示。進行超短基線對準偏差校正之前，需要先估算出應答器的位置，其作法是於應答器上方水面量測多點 GPS 與斜距資料，再將這些量測資料利用數值最佳化方法估算出應答器位置，同時計算應答器之間的相對距離。由於應答器位置估算的準確與否，會影響對準偏差校正的結果。因此，除了利用斜距誤差來驗證應答器的定位精度之外，本研究還利用應答器相對距離的估算結果來進一步驗證定位精度。

表 5 超短基線水下定位系統各儀器之規格特性

Instrument	Update Rate	Precision	Range
USBL positioning system	0.67 Hz	Slant range: 0.2 m	Slant range: 1000m, Beamwidth: $\pm 60^\circ$
GPS	1 Hz	RTK 或 PP 模式	—

		可至 10 cm 以內	
Motion sensor	30 Hz	Heading: 0.1° Pitch: 0.01° Roll: 0.01° Heave: 5 cm or 5% heave	Heading: No limitation Pitch: ±180° Roll: ±180° Heave: No limitation

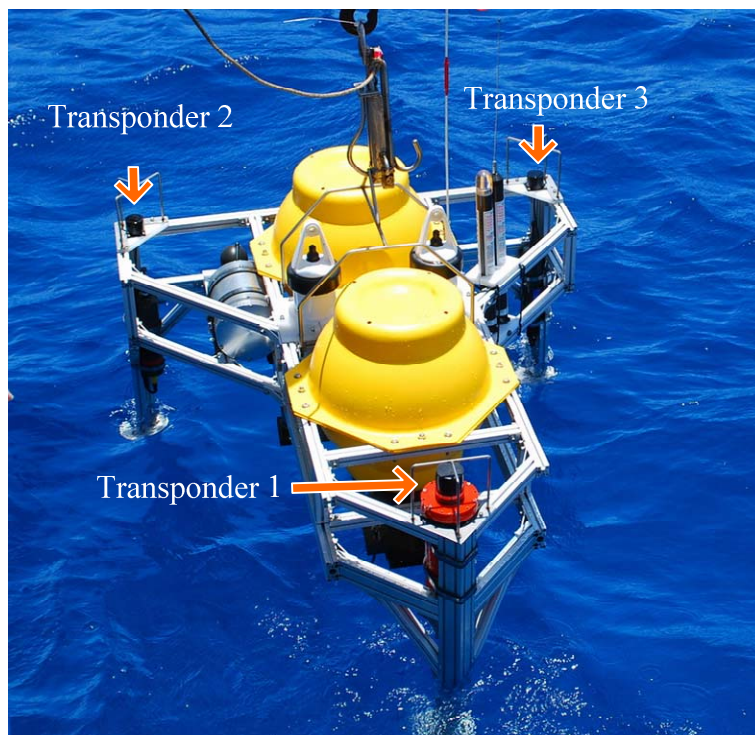


圖 29 海床應答器底碇架

表 6 底碇架上三個應答器之間的相對距離

應答器	相對距離（公尺）
Transponders 1-2	1.505
Transponders 1-3	1.505
Transponders 2-3	1.160

2. 實海域定位量測

超短基線定位系統的定位精度與目標物的水深有關，也與收發器與應答器之間形成的半錐角大小有關（如圖 30 所示）。為了瞭解超短基線定位系統的定位精度特性，本研究分別於三種不同水深（約為 30 m、70 m、110 m）佈放應答器底碇架（圖 31），並且於應答器上方水面移動船舶位置，以收集 GPS 資料與應答器定位資料。定位資料收集之船舶移動航跡如圖 32 所示，圖中的符號*表示應答器底碇架的佈放位置。此外，在定位資料蒐集的過程中，同時也進行溫鹽深儀的佈放，以量測水層聲速剖面，其量測結果如圖 33 所示。

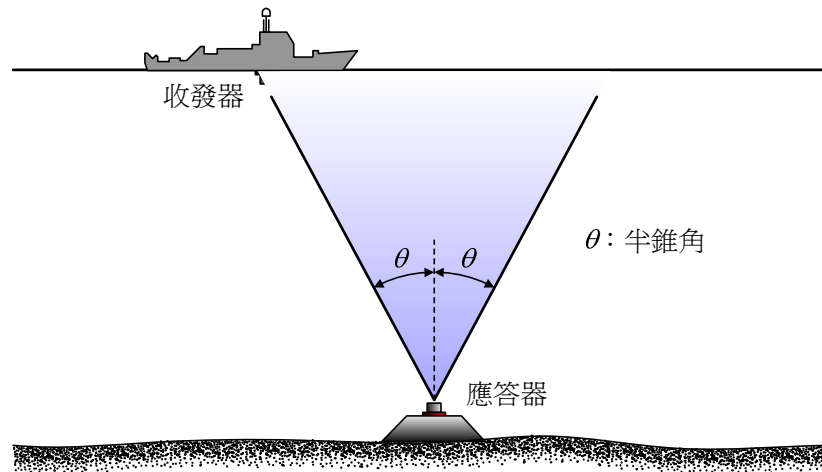


圖 30 超短基線定位精度與半錐角大小有關

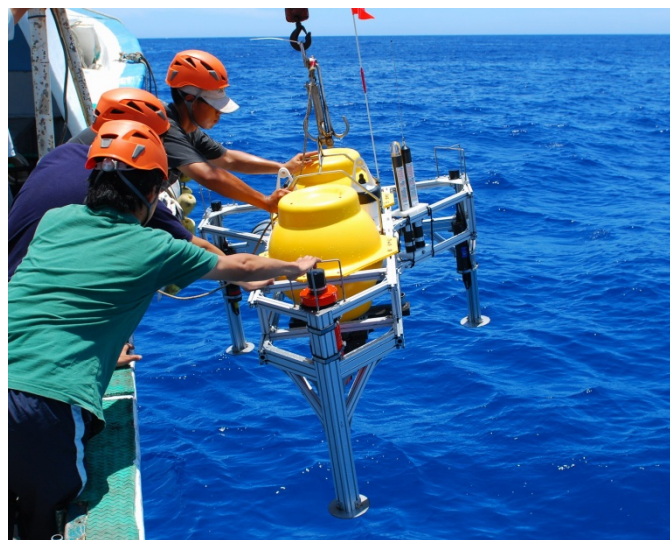
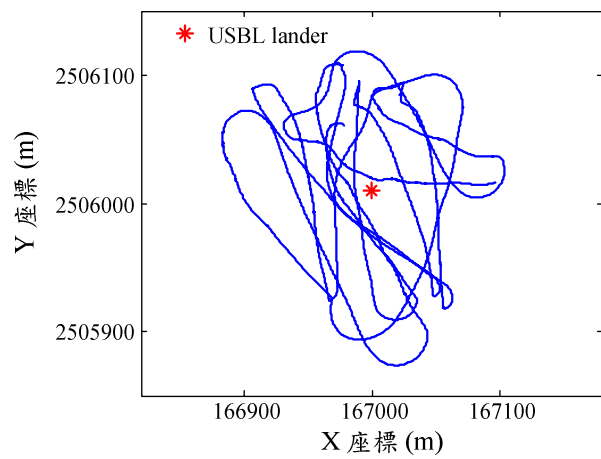
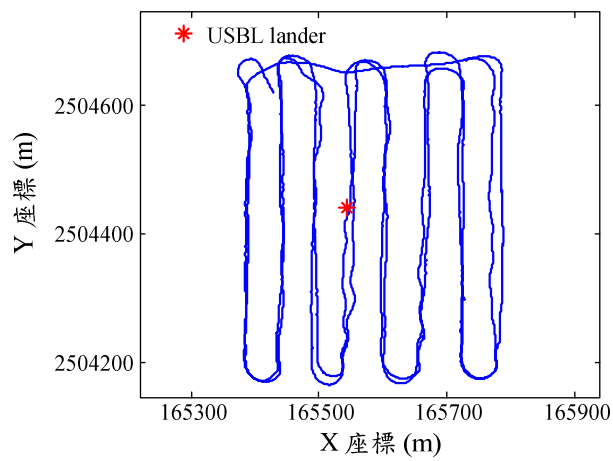


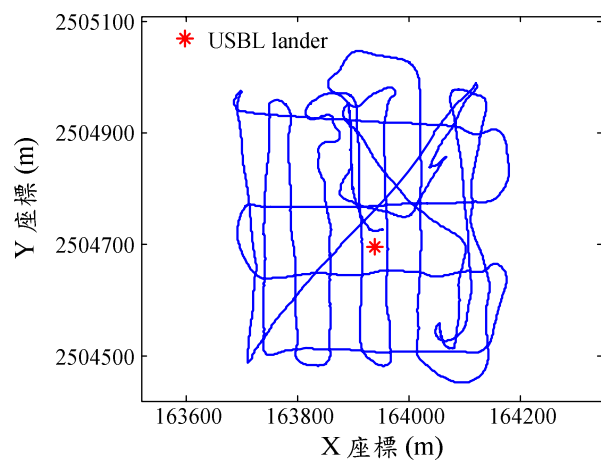
圖 31 佈放海床應答器底碇架



(a) 水深 32 m



(b) 水深 76 m



(c) 水深 110 m

圖 32 利用超短基線系統進行海床應答器定位作業之船舶航行軌跡

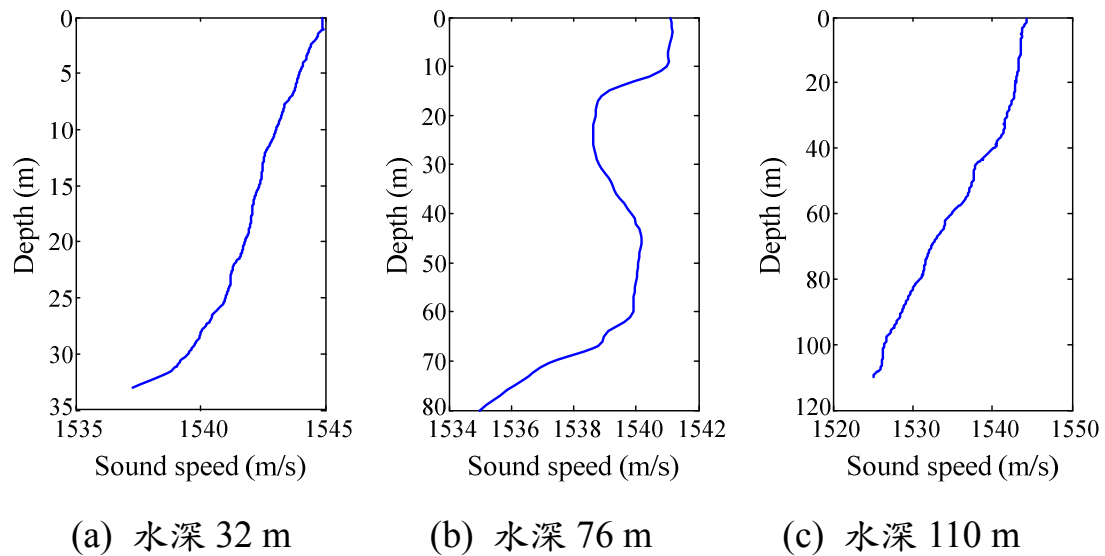


圖 33 應答器定位量測之水層聲速剖面

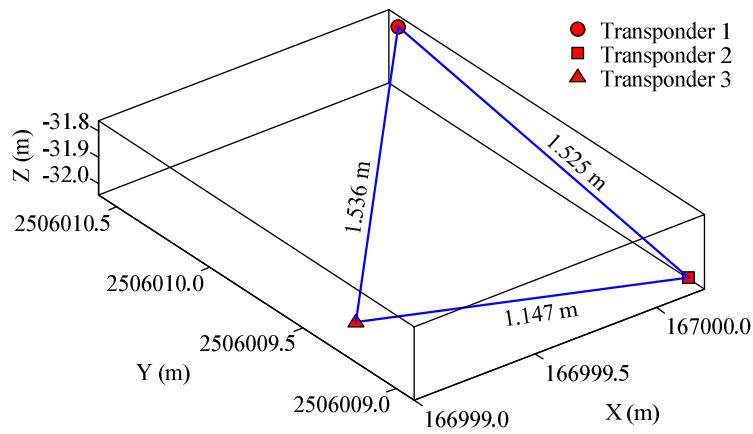
3. 定位量測結果

進行對準偏差校正之前，必須根據所有資料收集點的 GPS 座標與量測斜距來估算應答器的位置，估算結果如圖 34 所示。根據表 6 各應答器之間的相對距離，從圖 34 可以看出應答器的相對位置估算誤差僅有 3 公分左右，驗證了應答器的相對定位精確度。此外，根據估算出來的應答器位置可以計算斜距量測值與估算值之間的誤差，其誤差分佈直方圖如圖 35、圖 36、圖 37 所示。由圖 35、圖 36、圖 37 可以看出，應答器定位估算的斜距誤差分佈均非常集中，在水深 32 m、76 m、以及 110 m 的斜距誤差標準差分別為 0.06 m、0.11 m、以及 0.28 cm，而且平均值皆趨近於零，進一步驗證了應答器定位的精確度。

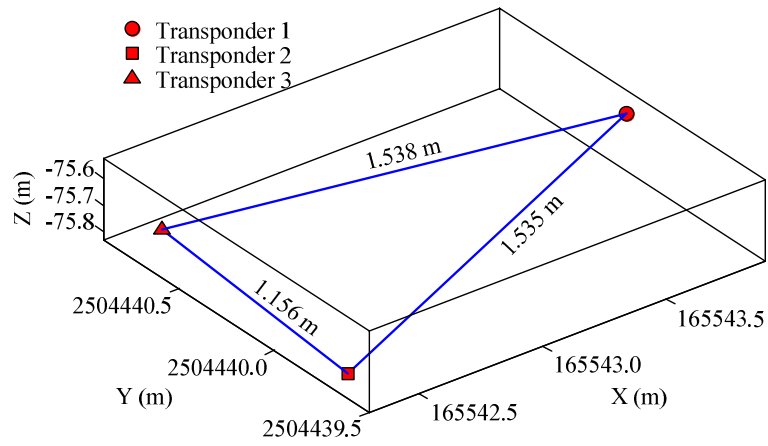
一旦海床應答器的位置估算出來之後，接下來便進行超短基線定位系統的感測器對準偏差校正。依據所估算的應答器位置與對準偏差演算法，可以估算出感測器對準偏差角度。感測器對準偏差估算出來之後，便進行定位資料修正，資料修正前後之結果如圖 38 所示。由圖 38 可以看出，對準偏差校正之後，定位資料分佈明顯比校正之前還要集中，顯見對準偏差校正能有效降低超短基線定位誤差。

根據對準偏差校正之後的超短基線定位結果，本研究進一步分析不同水深與不同半錐角對定位精度的影響，其結果如圖 39 所示。由圖 39

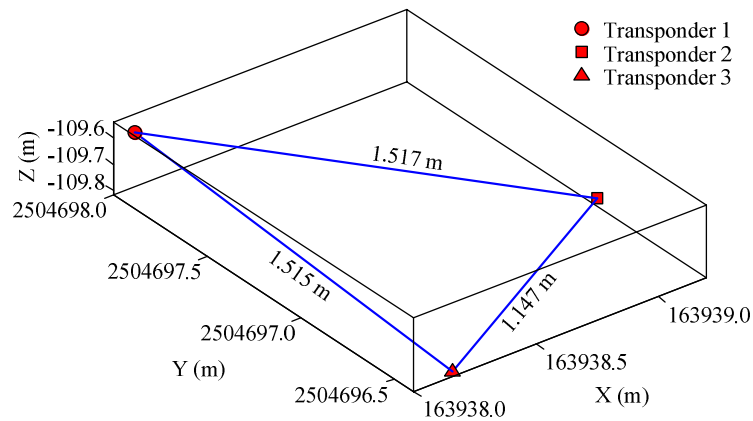
可以看出，定位精度（ 1σ ）隨著水深增加而變差；水深 32 m、76 m、以及 110 m 的最大定位誤差分別在 1 公尺、2.5 公尺、以及 3.5 公尺左右。此外，隨著半錐角增大，定位精度（ 1σ ）也跟著變大；在這三種不同水深下，半錐角 30 度以內的定位精度可控制在約 2 公尺以內。因此，利用超短基線進行水下載具定位時，應盡量將工作母船控制在水下載具正上方附近，可以有效降低定位誤差。



(a) 水深 32 m



(b) 水深 76 m



(c) 水深 110 m

圖 34 利用 GPS 與聲學斜距量測所估算的三個應答器座標位置

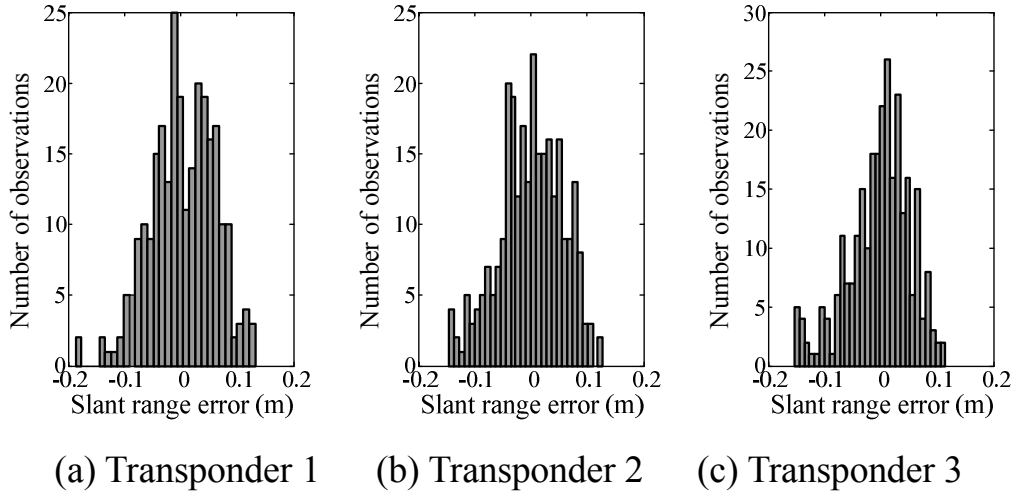


圖 35 水深 32 公尺之應答器定位斜距誤差

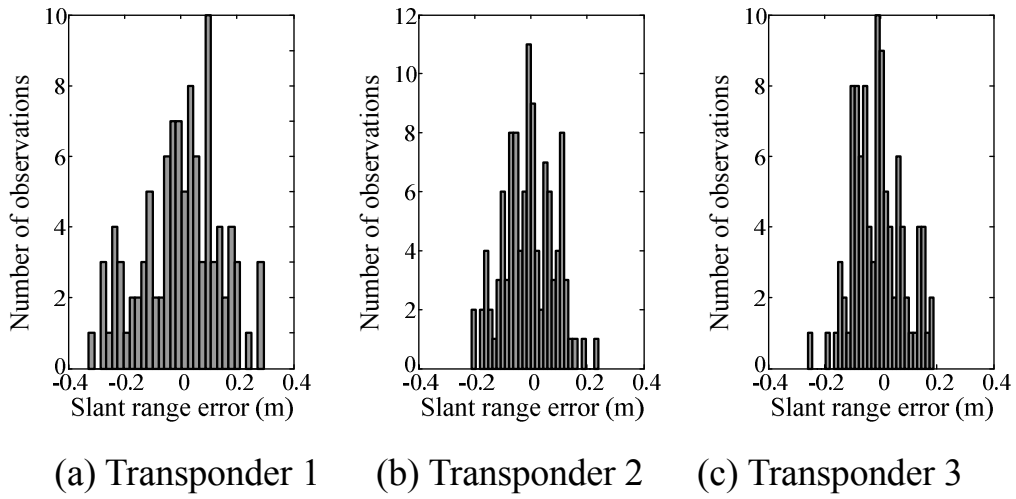


圖 36 水深 76 公尺之應答器定位斜距誤差

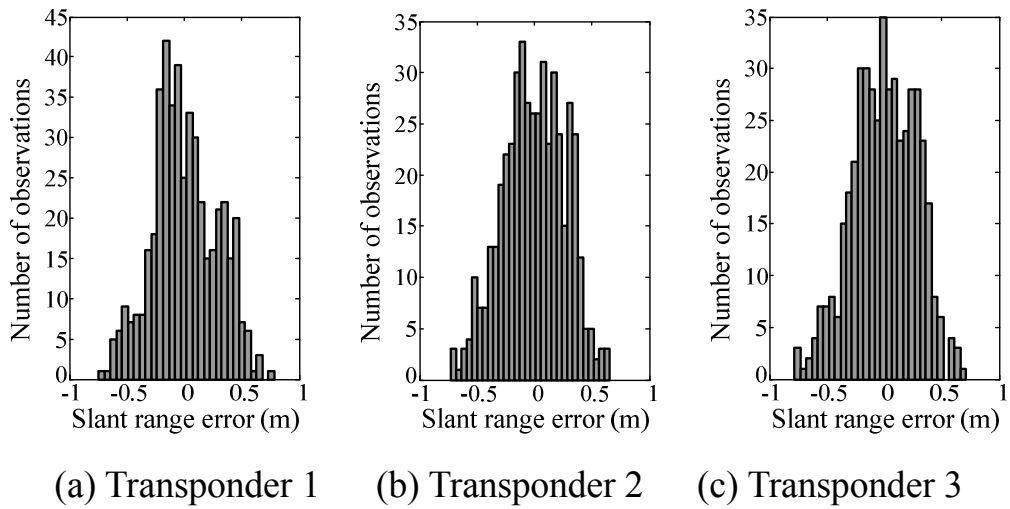
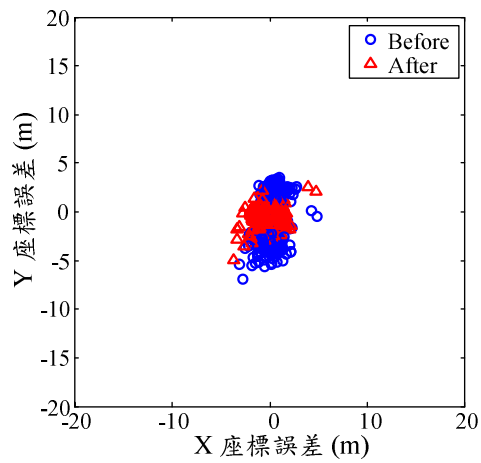
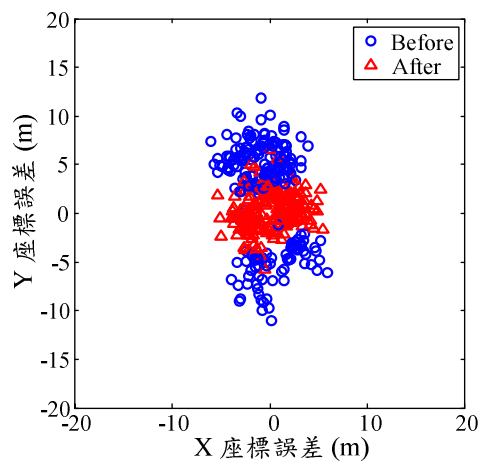


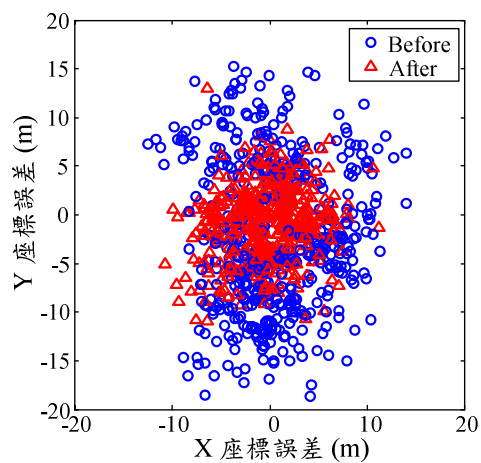
圖 37 水深 110 公尺之應答器定位斜距誤差



(a) 水深 32 m

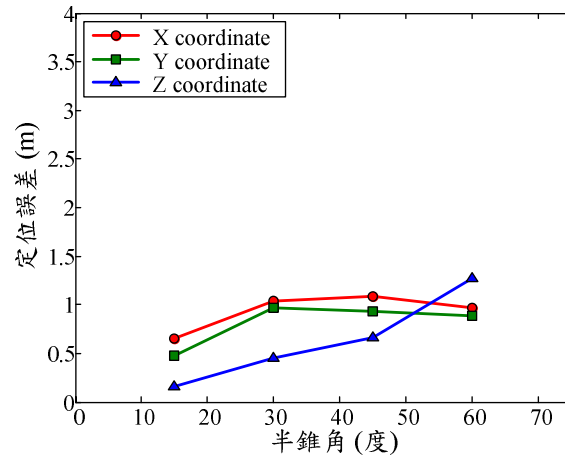


(b) 水深 76 m

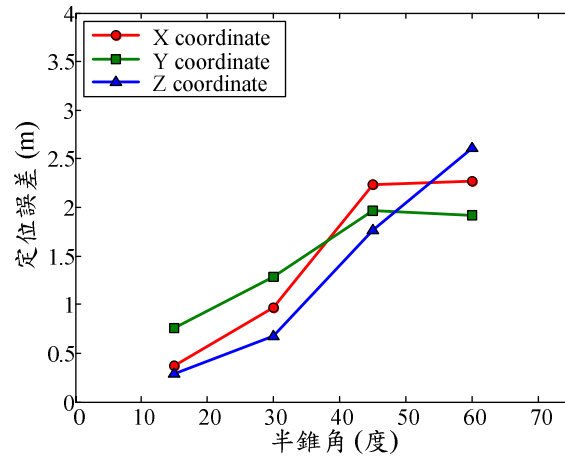


(c) 水深 110 m

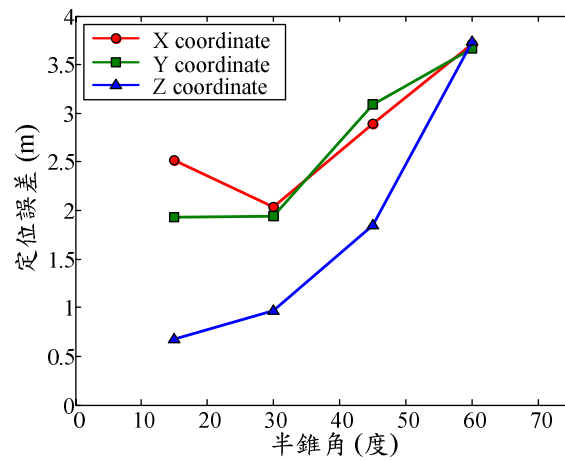
圖 38 感測器對準偏差校正前與校正後之定位誤差



(a) 水深 32 m 的定位誤差(1 σ)



(b) 水深 76 m 的定位誤差(1 σ)



(c) 水深 110 m 的定位誤差(1 σ)

圖 39 目標物定位誤差隨半錐角增加而變大

第五章 以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探討

探討多音束測深的精度可以從系統的誤差源著手，多音束測深系統的誤差源可歸納如下表：

表 7 多音束測深系統的誤差源

資料內容	資料特性	維度	測量儀器或方法
船隻規格(X,Y,Z)	固定平均值	長度	尺或測距儀
儀器相對位置(X,Y,Z)	固定平均值	長度	尺或測距儀
吃水(Draft)	動態平均值	長度	尺或測距儀
動態吃水(Dynamic Draft)	規則動態	長度	動態吃水檢驗
潮位(Tide)	慢速動態	長度	Tidal Gauge
聲速剖面(SVP)	代表性取樣	速度	SVP&CTD
MountAngle(Roll,Pitch,Yaw)	動態平均值	角度	Motion
音鼓安置角度(Roll,Pitch,Yaw)	動態平均值	角度	PatchTest
時間遲滯(Latency)	動態平均值	時間	PatchTest
船位坐標(P,L,H)	即時動態	長度	GPS
水深(Depth)	即時動態	長度	MB
船隻姿態(Heave,Roll,Pitch)	即時動態	長度&角度	Motion
航艙向(Gyro)	即時動態	角度	GyroCompass

綜合上表所述，影響多音束測深系統量測精度的因子可分為先天的因子：「量測儀器精度」和後天因子：「海測人員及海象狀況」，量測儀器精度源自各項儀器出廠規格。國際海測組織(IHO)的海測規範(SP-44)第四版建議必需估算各項量測誤差的可能精度(包含人為判斷及儀器精度)，並且應將各項誤差歸算為總傳播誤差(TPE)。由於近年來程式設計及電腦硬體的日新月異，國際海測組織(IHO)的海測規範

(SP-44)第五版已將 TPE 列為必要的檢查，並更名總傳播不確性(Total Propagated Uncertainty, TPU)，強調歸算的結果並非誤差值，而是誤差可能存在的統計百分比(信賴區間)。

由於誤差來源太過廣泛，本研究僅針對影響較大的因子進行探討：衛星定位模式精度、多音束聲納的足印尺寸及率定(Patch Test)精度等因素，探討使用多音束測深系統量測水下載具的精度，最後與超短基線水下定位系統比對驗證其定位結果。

5.1 衛星定位模式精度

5.1.1 衛星定位系統

全球衛星定位系統過去泛指美國全球定位系統(Global Positioning System, GPS)，該系統衛星編號自 No 1~32 號，扣除汰舊換新的衛星，太空中實際上約有的 24 顆 GPS 衛星可供定位，另外地面上的 1 個主控站、3 個數據注入站和 5 個監測站輔助及追蹤衛星位置，可提供精密星曆。只需其中 3 顆衛星，就能迅速確定用戶端在地球上所處的水平及高程位置；衛星接收定位儀所能鎖定的衛星數量越多，解算出來的位置就越精確。

近年來許多衛星定位儀已將蘇聯衛星系統(GLONASS)納入衛星定位標準規格，稱為 2G 衛星定位機種。GLONASS 系統由衛星、衛星追蹤站和衛星定位接收儀三部分組成，系統以 21 顆衛星和 3 顆備用衛星輔助，分佈於 3 個地球軌道平面上，每個軌道面有 8 顆衛星，軌道高度約 1 萬 9000 公里，衛星運行周期 11 小時 15 分。GLONASS 系統於 20 世紀 70 年代開始研製，1982 年發射首顆衛星入軌。但由於太空撥款不足，該系統部分衛星一度老化，最嚴重曾只剩 6 顆衛星運行，2003 年 12 月，由俄國應用力學科研生產聯合公司研製的新一代衛星交付聯邦太空局和國防部試用，為 2008 年全面更新 GLONASS 系統作準備。在技術方面，GLONASS 系統的抗干擾能力比 GPS 要好，但其單點定位精確度不及 GPS 系統。2004 年，印度和俄羅斯簽署了《關於和平利

用俄全球導航衛星系統的長期合作協議》，正式加入了 GLONASS 系統，計劃聯合發射 18 顆導航衛星。

此外尚有歐盟建置中的伽利略定位系統(Galileo Positioning System)，同時可接收三種衛星系統的機種，稱為 3G 衛星定位機種，但目前尚在測試階段，可供使用的衛星不到 5 顆，現階段對於提升定位精度實質意義不大，參照伽利略系統規格，未來則可提供比美國 GPS 更為精準的服務。其概略規格下：衛星數量: 30 顆、離地面高度: 23,222 公里 (MEO)、三條軌道， 56° 傾角 (每條軌道將有九顆衛星運作，最後一顆備用)、衛星使用年限: 12 年以上、衛星重量: 675 公斤、衛星長寬高: 2.7m x 1.2m x 1.1m、太陽能集光板寬度: 18.7m 及太陽能集光板功率: 1500W。

5.1.2 衛星定位模式(Point, DGPS, RTK)

GPS 單機定位求取接收儀之三度空間坐標，即有三個未知數待解。另由於衛星及接收儀之時錶精度較差(difference)，需有一修正量，即有另一個未知數。因此需要至少四個虛擬距離觀測量才能解得這四個未知數，即最少需要同時觀測得四顆衛星，才能以空間後方交會法(spatial resection)解得這四個未知數。此即為單點定位(point positioning)的原理。這也就是一部 GPS 接收儀利用 C/A 電碼可進行即時定位(real time positioning)的原理。

為提高定位精度，消除 GPS 定位誤差來源，乃有差分式定位法(Differential GPS, DGPS)。其方法是將一個 GPS 接收儀固定於一已知位置(由 GPS 靜態測量法引測得到)之基站，並將每顆接收到衛星之虛擬距離修正量傳遞至移動站，以進行移動站虛擬距離之改正。DGPS 除了可進行後期處理外，亦可以無線電傳輸基站之虛擬距離修正量，以達到即時定位的效果。通常以 C/A 電碼進行 DGPS 後期處理，其定位精度約在 3-5 公尺，即時 DGPS 之定位精度約在 5-10 公尺。若採用載波相位平滑電碼或較高品值之 C/A 電碼接收儀(narrow correlator C/A code receiver)，其定位精度可達 1-3 公尺或公分級。

由於大地測量只能採用載波相位觀測量，並以相對定位(relative positioning)方式得到公分級定位精度，必須同時將 GPS 接收儀設置於基線(baseline)之兩端，並以後期處理方式計算基線之各方向分量 ΔX , ΔY , ΔZ 。近年來也有將載波觀測量以無線電傳送至近距離之測站(10-15 公里內)，以進行載波相位未定值即時解算而進行即時定位，此即為即時動態測量(Real Time Kinematic positioning, RTK)。

除了使用的衛星定位系統差異，IHO-SP44 文件對於定位精度最低要求為 2 公尺，換言之衛星單機定位通常難以達到海測所需要的定位精度，至少應使用 DGPS 定位等級。下表列出可供選擇使用的衛星定位模式 RTK 服務。

表 8 衛星定位模式

	差方式定位 DGPS	即時動態差分 RTK	量測精度
BEACON	免費	X	2 公尺
SBAS	免費	X	2 公尺
FUGRO	約 300USD/天	X	收斂後可達 10 公分
自行架站，使用無線電傳送差分訊號	免費	免費	DGPS；2 公尺 RTK：收斂後可達 10 公分
自行架站，使用 GSM 傳送差分訊號	依照 GSM 服務收費標準	依照 GSM 服務收費標準	DGPS；2 公尺 RTK：收斂後可達 10 公分
使用國土測繪中心 eGPS	GSM 服務收費標準+GPS 收費標準	GSM 服務收費標準+GPS 收費標準	DGPS；2 公尺 RTK：收斂後可達 10 公分

除了使用的衛星定位系統差異，IHO-SP44 文件對於定位精度最低要求為 2 公尺，換言之衛星單機定位通常難以達到海測所需要的定位精度，至少應使用 DGPS 定位等級。下表列出可供選擇使用的 DGPS 及 RTK 服務。

表 9 衛星定位模式的優缺點

	優點	缺點	備註
BEACON	免費	台灣的基地站年久失修，經常是收到鄰近國家的訊號	國際差分服務，由各國家自行建置基地站。
SBAS	免費	尚在測試中，只有一顆衛星以日本附近海域較為精準	日本為提升飛機及船舶導航精度，以衛星傳送訊號。
FUGRO	衛星服務費用昂貴	商用界面使用方便，衛星覆蓋服務區廣泛，收斂後可達到接近 RTK 等級的精度	FUGRO 自行研發的差分式訊號，使用 L-BAND 天線接收衛星訊號。
自行架站，使用無線電傳送差分訊號	免費，可控制基地站與測區距離	無線電易在港區受 UHF 電台及雷達干擾，離岸較遠時，無線電傳輸不易。	
自行架站，使用 GSM 傳送差分	GSM 近岸訊號分佈廣泛，比無	目前 GSM 服務費用仍然昂	以 GSM 取代無線電傳輸。

	優點	缺點	備註
訊號	線電更加不受干擾，節省自行架站的成本。	貴，離岸較遠時，GSM 仍然無法傳至作業區。	
使用國土測繪中心 eGPS	GSM 近岸訊號分佈廣泛，比無線電更加不受干擾，節省自行架站的成本，EGPS 採用多基站解算差分訊號，可獲得較高的精度。	目前 GSM 服務費用仍然昂貴，離岸較遠時，GSM 仍然無法傳至作業區。此外，移動站 GSM(手機)的功率通常不及 GSM 基地台，可供的雙向服務距離縮短。	以 GSM 取代無線電傳輸，並採用雙向傳輸。

總結來說，按照海測目的採用 DGPS 或 RTK 的定位等級，並且依照作業區域的狀況，選擇合適的傳輸方法，此外人員及費用成本也是另一項考量的重要因子，此外可選擇備案：後期處理(Post-Processing, PP)模式，後期處理指完作測量作業後，重新解算基站及移動的衛星原始資料，由於其資料於事後才解算，風險甚高，一般而言，海測作業不會以 PP 作為唯一定位模式。

5.2 多音束聲納的足印(Footprint)尺寸

使用多音束測深系統量測特徵物至少需要 3~5 個點，才足以判視其特徵點與背景海床的差異，以多音束測深系統探測 2 公尺的目標物，足印應小於 0.4 公尺~0.66 公尺，音束足印尺寸與音束束寬、音束角及水深互為相關，可參照錯誤！找不到參照來源。，本案採用的 Reson SeaBat 8125 音束束寬 γ 為 0.5 度，是目前業界解析度最高的多音束聲

納。假設海床幾近平坦，以音鼓正下方為例，音束足印在水深 10 公尺處為 0.87 公分;在水深 20 公尺處為 0.175 公分; 在水深 40 公尺處為 0.379 公分。

Reson SeaBat 8125 多音束聲納的音束張角(swath angle)為 120 度， α 為 60 度，實際作業時，船隻運動 Roll 角改變左右 α 值大小，左弦 α 增加，右弦 α 減少，反之右弦 α 增加，左弦 α 減少，當水深為 5 公尺至 100 公尺時，下表為 $\alpha=0$ 度及 $\alpha=60$ 度時不同水深的足印尺寸。

表 10 Reson 8125 多音束聲納足印尺寸表(單位:公尺)

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
25	0.218	1.719
30	0.262	2.063
35	0.305	2.407
40	0.349	2.751
45	0.393	3.095
50	0.436	3.439
55	0.480	3.783
60	0.524	4.127
65	0.567	4.470
70	0.611	4.814
75	0.655	5.158
80	0.698	5.502

水深	$\alpha=0$ 度(正下方)	$\alpha=60$ 度
85	0.742	5.846
90	0.785	6.190
95	0.829	6.534
100	0.873	6.878

以探測 1.6 公尺左右大小的特徵物而言，建議足印尺寸至少要不小於 0.4 公尺，足印尺寸的計算較為複雜，可繪製成圖表以供查閱，將水深及音束角(α)繪製成圖可參照圖 40。圖中水深 30 公尺且音束角約 35 度時，足印尺寸約 0.4 公尺，若特徵物水深大於 30 公尺，音束角也要限定在 35 度以內，不可超過水深 45 公尺，反之水深小於 30 公尺，可接收的音束角(α)遞增。定位儀器精度及音束足印二者需要互相搭配評估，取其大者才可確認為最大可度量的目標物尺寸。

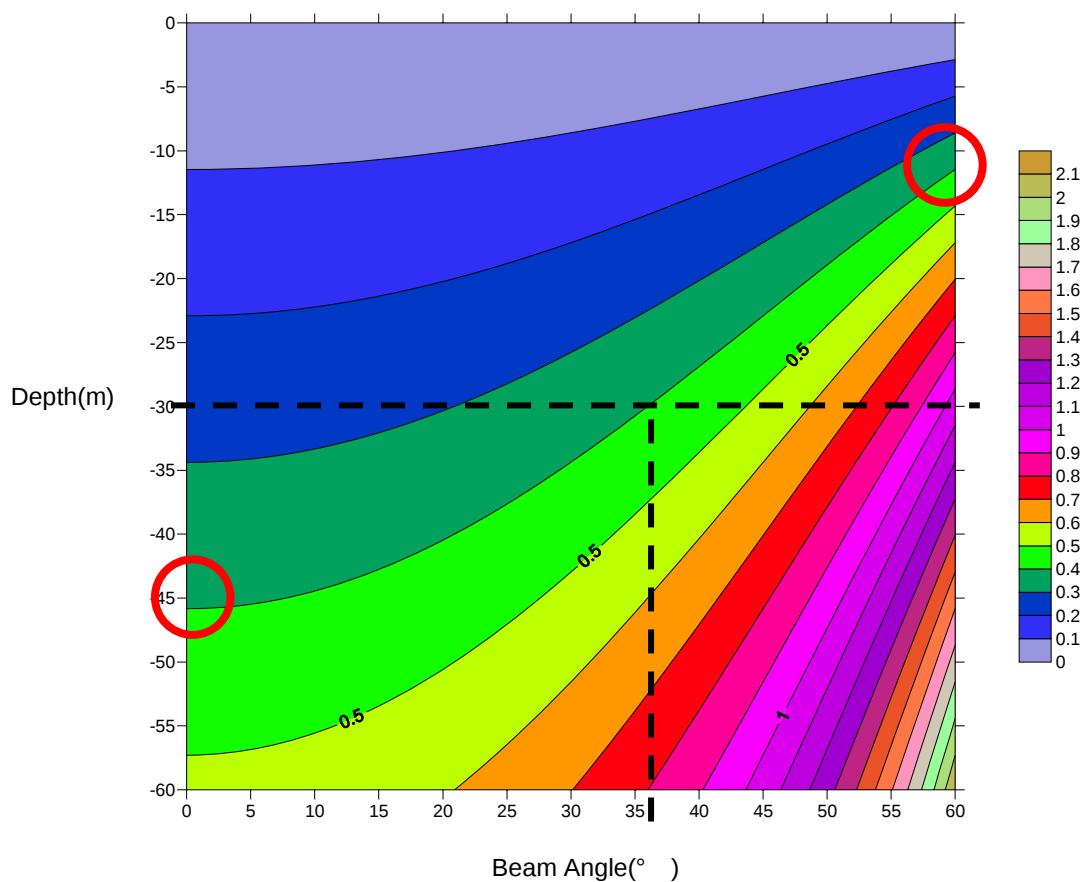


圖 40 Reson 8125 多音束聲納足印尺寸

5.3 多音束測深系統率定(Patch Test)精度

上述二項因子是儀器精度的先天因子，至於綜合人為操作、儀器誤差及海象天候等實測時無法抗拒的因素，會增加率定作業的困難度。

率定的概念是以不同的量測條件，由資料疊合的好壞反算修正參數，包括一個時間參數時間遲滯(Latency)及三個角度參數：橫搖角(Roll)、縱搖角(Pitch)和橫擺角(Yaw)等。理論上率定求得的參數是音鼓與三軸的偏差角度，以及定位與測深的時間差，但實務上融合了各項誤差源的綜合體，因為率定的基本概念是找出四個參數使，使疊合測量的誤差成果最小，因此率定參數與其它誤差源的互動影響，甚至四個參數之間也會彼此相互連動改變。不論率定(Patch Test)參數如何降低其他誤差源引起的誤差傳播，最終將忠實反應在交錯檢核(Cross Check)的精度檢核。

多音束測深的率定方法是以不同的量測條件重複量測同一水域，藉以歸算出誤差最小的四種參數：時間遲滯(Latency)、橫搖角(Roll)、縱搖角(Pitch)和橫擺角(Yaw)等，由於其特性為疊合同一測區比對之，又稱為「疊合分析」，量測條件如下圖所示。

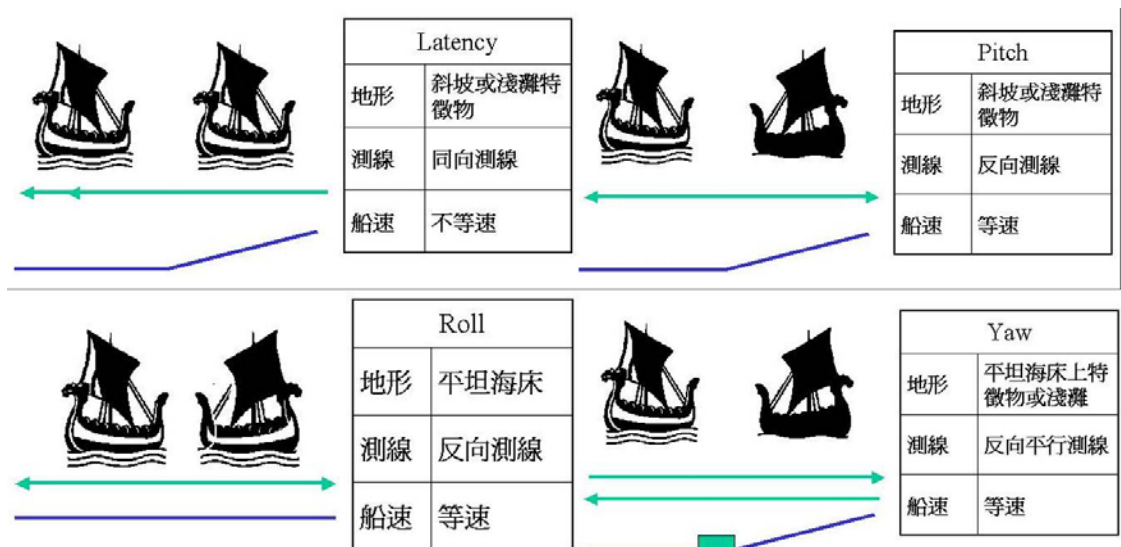


圖 41 率定(Patch Test)條件

本次多音束測深實驗選擇的率定目標物為貨櫃，位於國立中山大學的西子灣海洋實驗場，尺寸規格如下圖，佈放時間已經超過 3 年，部份貨櫃已損壞或掩埋，但裸露在海床上的部份仍然是海床上良好的實驗場。

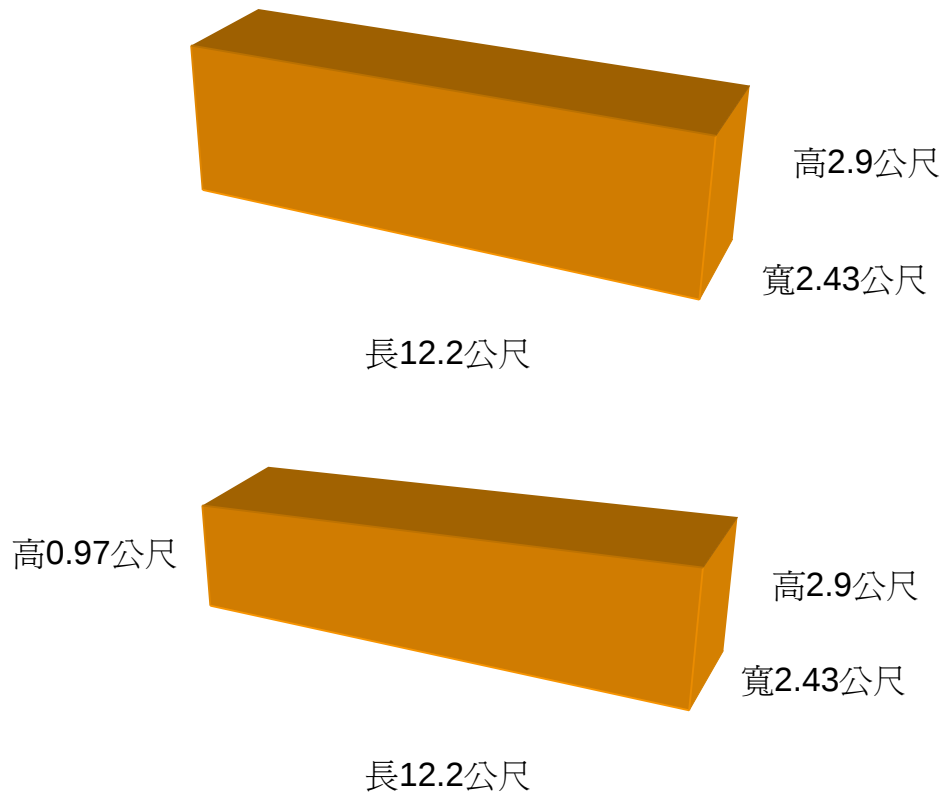


圖 42 率定(Patch Test)目標物尺寸大小

率定參數可說是吸收各種誤差源所得結果，以水深 30 公尺的特徵物為例，在航向上偏移 1 公尺，Pitch 的修正量達到 1.9 度，定位偏移量經常對於率定值造成嚴重的影響。除了定位模式的精度，ZDA 及 PPS 的時間率定也極為重要，如果採用電腦時間作為測深時間基準，按照以往的經驗 Latency 甚至可能會介於 $\pm 0.8\text{sec}$ 之間，以航行船速 6 節推算，Latency 偏差量可能產生 ± 2.4 公尺的定位差異。

調整多音束測深系統率定參數前繪製水深色階圖可參照下圖，
將貨櫃部份局部放大後，可看出貨櫃分離成二個。

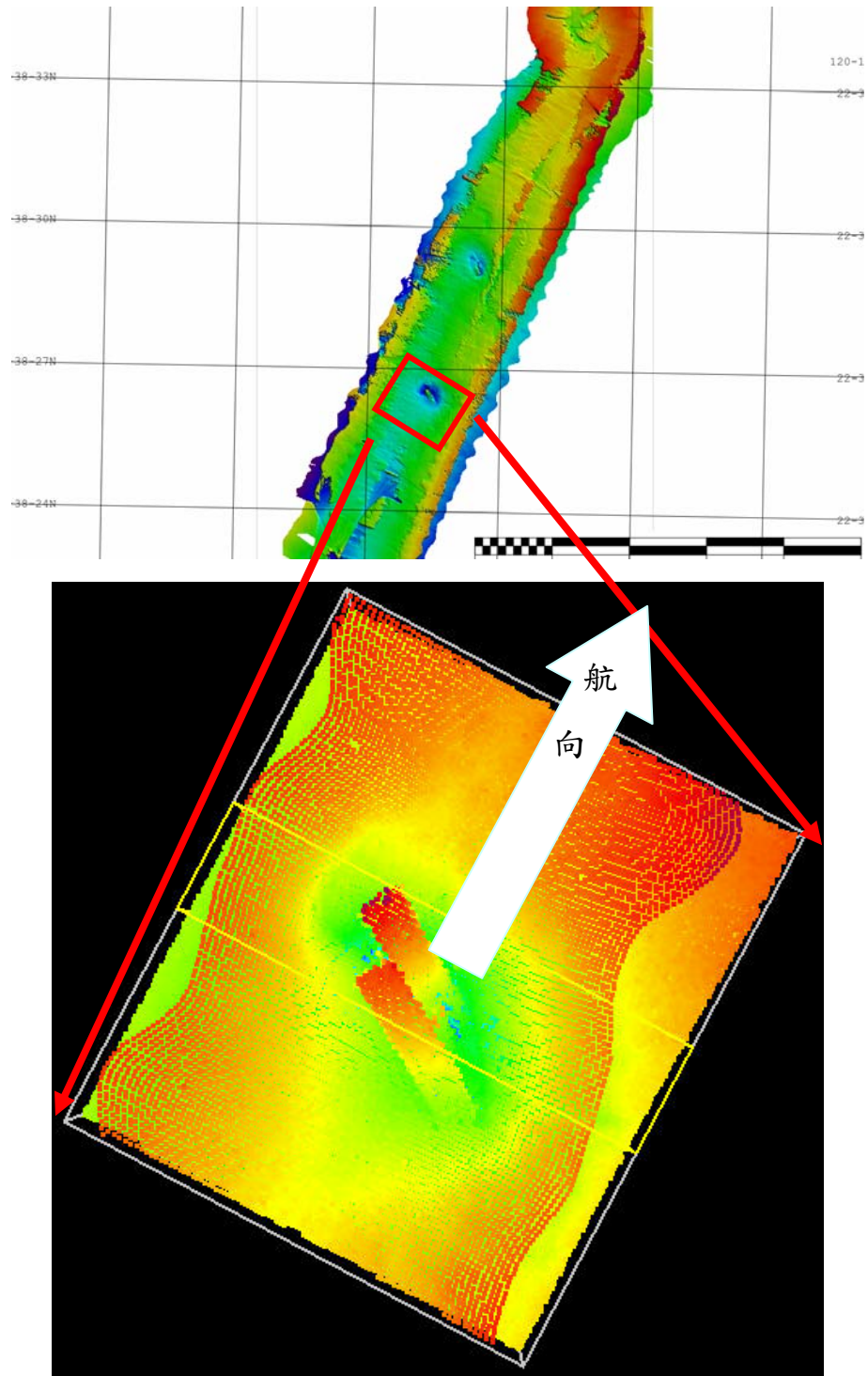


圖 43 率定參數(L,P,R,Y)為(0,0,0,0)水深色階圖

在調整 Roll 角為 2.5 度後，整體水深色階圖較為平滑，可參照下圖，將貨櫃部份局部放大後，可看出貨櫃仍然分離，但是偏移方向可定義出在航向方向的偏移。

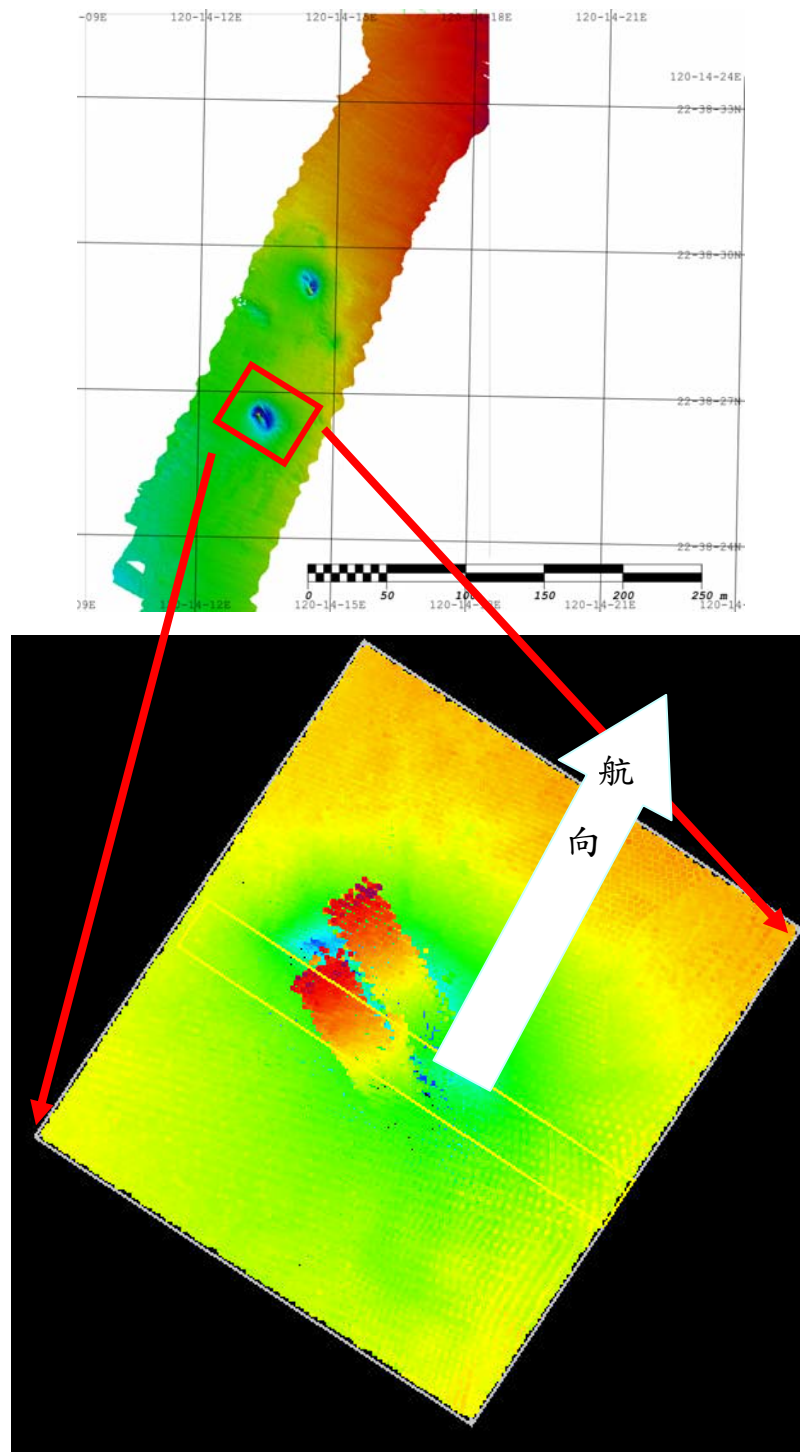


圖 44 率定參數(L,P,R,Y)為(0,0,0.25,0)水深色階圖

在調整 Roll 角為 2.5 度，Pitch 角為 7 度後，色階圖更為平滑，可參照下圖，將貨櫃部份局部放大後，可看出貨櫃已合併。

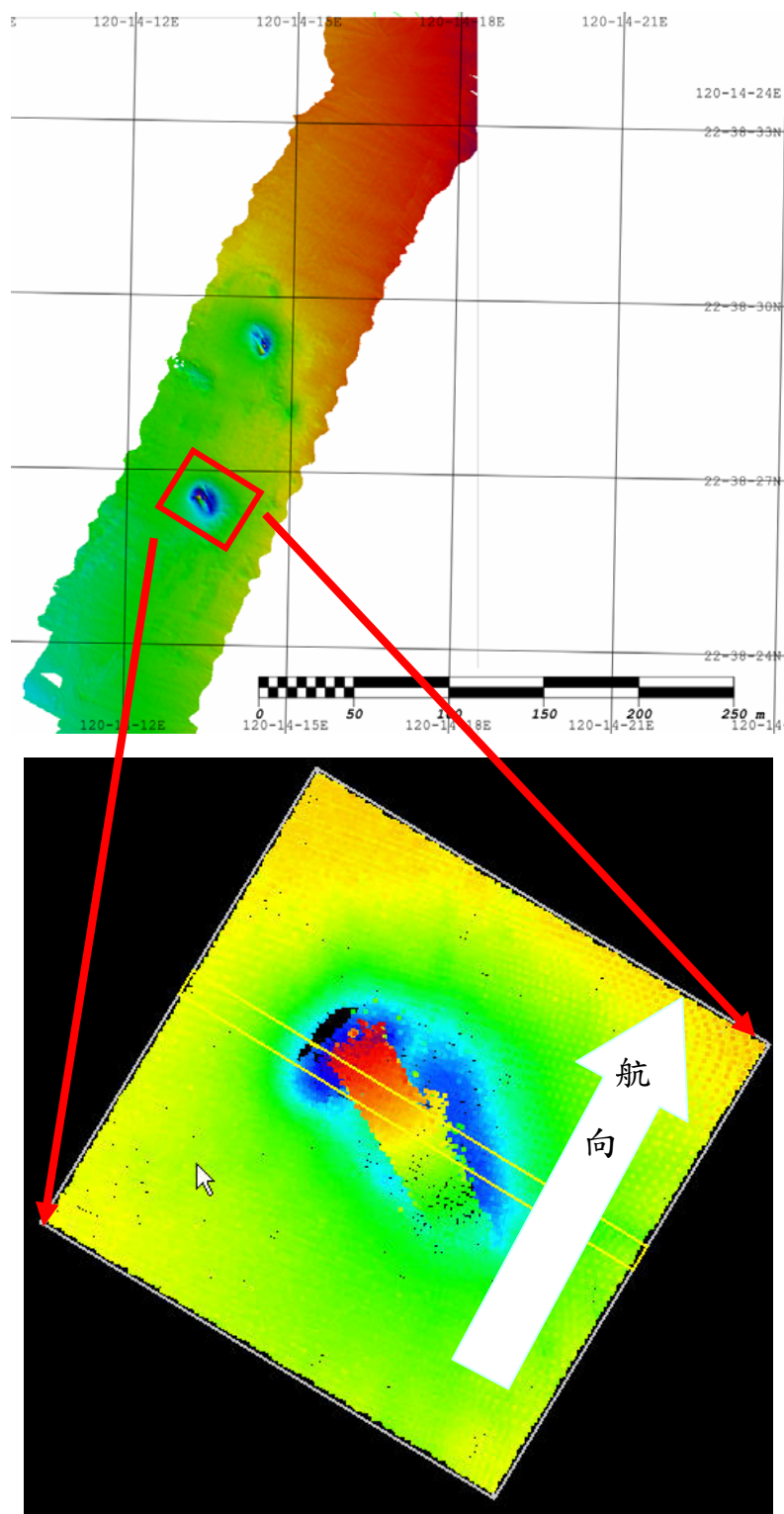


圖 45 率定參數(L,P,R,Y)為(0,7,0.25,0)水深色階圖

5.4 多音束測深系統實測水下定位系統底碇架位置

本案模擬水下定位系統的底碇架約 1.6 公尺 x1.6 公尺，選定足印直徑應在 0.4 公尺下，由圖 40 中判斷，作業區域水深不應超過 35 公尺，而本研究之水下定位實驗分為三種水深（約為 30 公尺、70 公尺、110 公尺），因此僅有 30 公尺對照組配合多音束測深系統驗證其量測精度。佈放底碇架的背景地形水深圖，可參照圖 46。

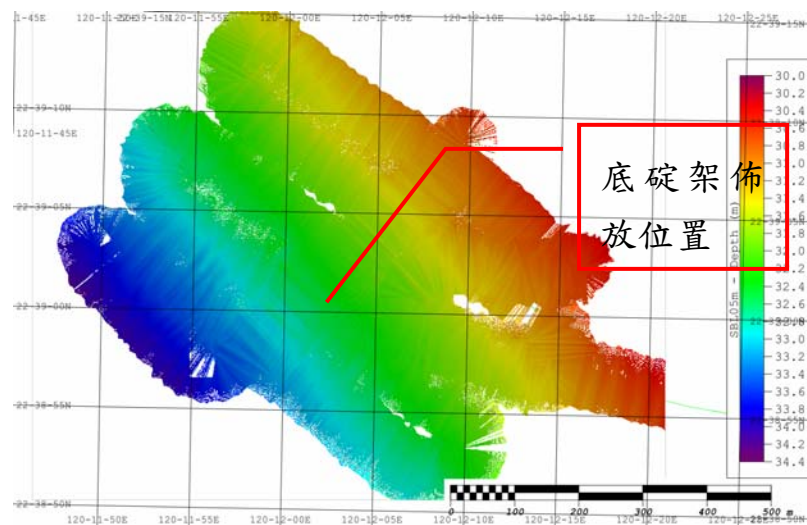


圖 46 水深 30m 實驗區海床背景地形

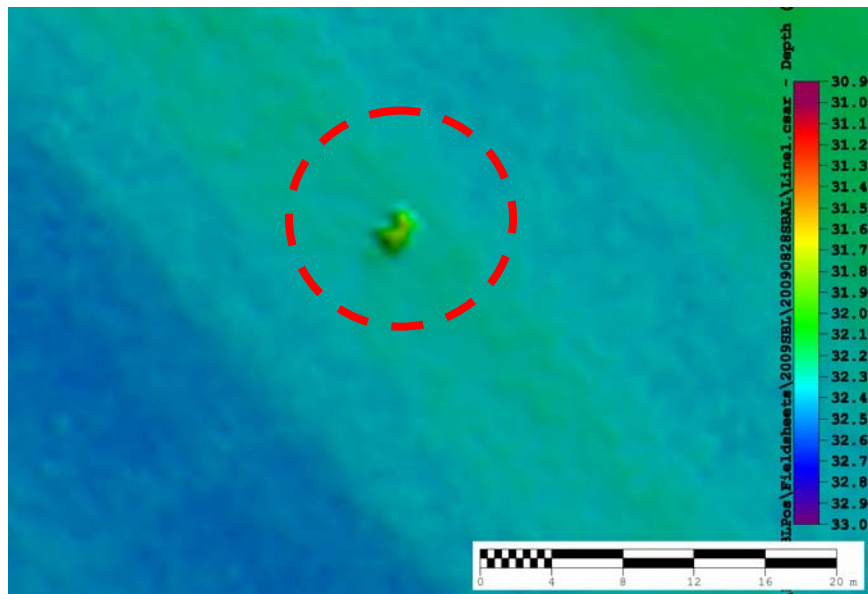


圖 47 水深 30m 實驗區底碇架水深示意圖

多音束測深結果由三維點雲圖判視，可參照圖 48，高於背景海床的點為多音束聲納探測到底碇架的概略位置，選擇 39 點並將其平面位置及水深值予以平均，結果可參照表 11。考量多音束聲納足印在 30 公尺水深處介於 0.26~2 公尺之間，及衛星定位系統之平面定位精度約為 0.1 公尺，而多音束測深與三組水下定位儀平面位置測量平均值在平面位置之差異(dN,dE)分別為 0.203m, 0.099m，因此可視為平面位置一致。然而兩者之水深相差 0.31m，若追究多音束聲納測量水深較淺可能有二個原因：1.多音束測深值扣除當時潮汐約 0.29 公尺，水下定位未扣除潮位(測量當時潮汐約 0.14 公尺)，水深應加深 0.15 公尺，亦即僅相差約 0.16 公尺。2.唯多音束測深測量者，應為底碇架最上緣的部份，平均水深較淺。但三個水下定位系統之應答器之水深較相鄰之兩個浮桶低約 0.2 公尺，若將兩者水深平均後，再與第 1 項之水深差異比較，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)中之特等測深精度為高。

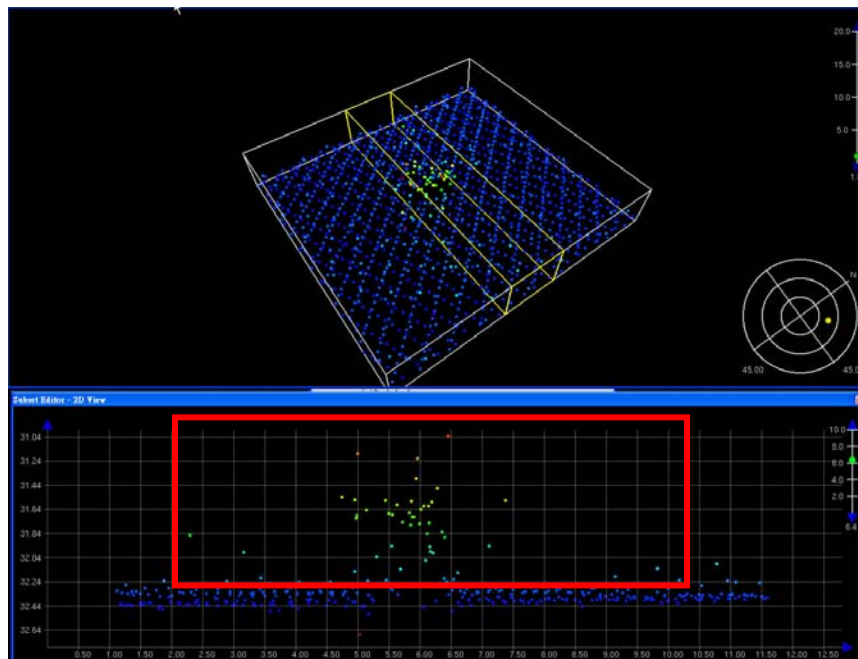


圖 48 底碇架測深點雲圖

表 11 多音束測深系統與水下定位系統量測結果比較表

	N	E	Depth(公尺)
多音束測深值 39 點平均值	167839.456	2505800.380	-31.62
Transponder1	167839.664	2507801.179	-31.76
Transponder2	167839.713	2505799.678	-32.04
Transponder3	167838.633	2505799.985	-32.00
水下定位平均值	167839.253	2505800.287	-31.93
底碇架水位計	不適用	不適用	-32.03
水下定位與水位計 之水深差值	不適用	不適用	0.10
多音束測深與水下 定位之差值	0.203	0.099	0.31
多音束測深與水位 計之水深差值	不適用	不適用	0.41

第六章 水下定位系統之介面開發

水下定位系統與水下載具結合時，必須進一步取得水下載具的深度、姿態、以及航向資料，才能整合成完整的導航定位系統。常見的水下載具包括 AUV 及 ROV，本研究以 ROV 為應用對象，說明所發展之水下定位系統操作介面。

6.1 硬體架構

圖 49 所示為 ROV 感測資訊監控介面發展之硬體架構，主要的硬體包含 ROV、水面控制單元、以及外部定位感測器。ROV 上配備前視彩色 CCD 攝影機，可以提供水下動態影像畫面。ROV 上也內建壓力計和磁羅經，可提供 ROV 作業水深與航向等資訊。視訊、水深、以及航向等資料經過 ROV 主控電腦處理轉換為數位資料之後，便透過電纜傳至水面控制單元。

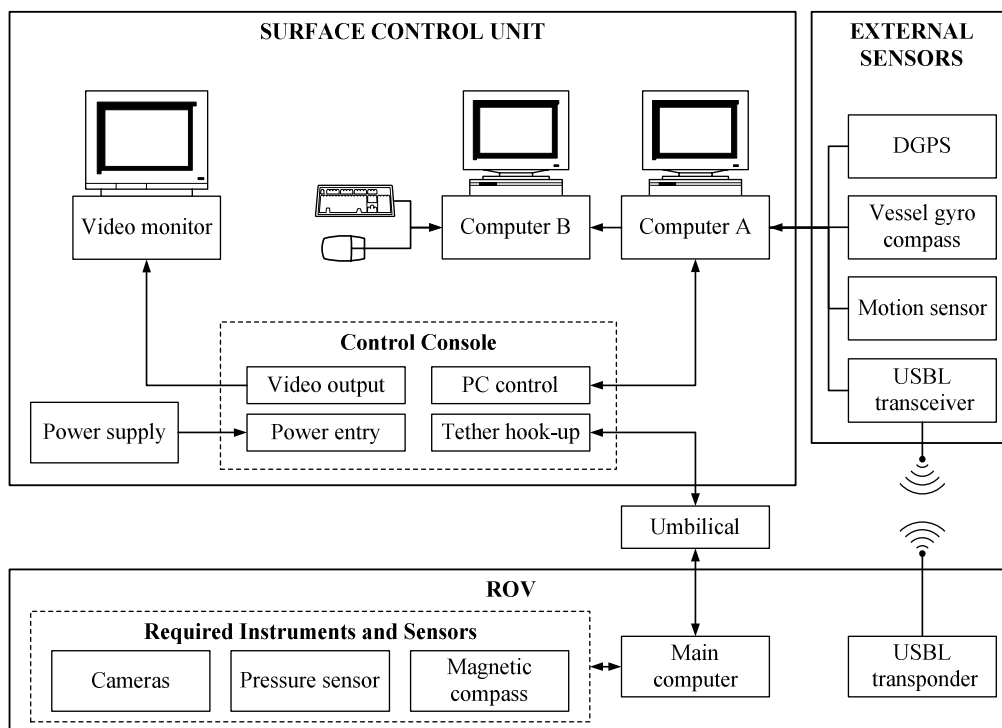


圖 49 系統硬體架構

明顯地，僅有深度和航向資料是無法得知 ROV 的絕對位置。要獲得 ROV 的絕對位置，最簡單的方法是取得工作母船的絕對位置，同時取得 ROV 相對於工作母船的位置，所以此系統必須外加一些感測器，包括 DGPS、電羅經、運動感測器、以及超短基線定位系統。DGPS 用來量測工作母船的絕對位置，電羅經則用來量測工作母船的航向，而工作母船與 ROV 之間的相對位置則是利用超短基線水下定位系統來量得。超短基線水下定位系統主要包含了一個收發器 (Transceiver) 和一個應答器 (Transponder)，收發器固定於船底或船舷邊 (沒入水中)，應答器則是裝載於 ROV 上。應答器備有自給電源，透過聲學訊號與收發器溝通。至於運動感測器則是用於量測工作母船的姿態，包括縱搖角 (Pitch) 與橫搖角 (Roll)。圖 50 為本介面所結合之硬體設備。

水面控制單元包含 ROV 控制台、電源供應器、視訊監視器、以及圖形顯示介面。ROV 控制台上各種形式的開關與搖桿可以控制 ROV 的燈光、攝影機、推進器出力等功能，也有感測器傳輸介面可以輸出 ROV 狀態資料與輸入 ROV 控制命令。視訊監視器可以顯示 ROV 拍攝的水下影像畫面，同時將深度與航向資訊重疊於影像上。圖形顯示介面利用 RS232 介面接收水面控制台傳送出來的 ROV 感測資訊，包括 ROV 深度、航向、縱搖角 (Pitch)、以及橫搖角 (Roll) 等，圖形顯示主控電腦將這些感測資訊整合之後顯示於虛擬實境顯示介面上。圖形顯示主控電腦將 ROV 上傳的感測資訊與外部感測資訊整合之後，便可以估算出 ROV 的水下位置，並以 3D 和 2D 的虛擬實境與圖示顯示於 ROV 監控圖形介面上。

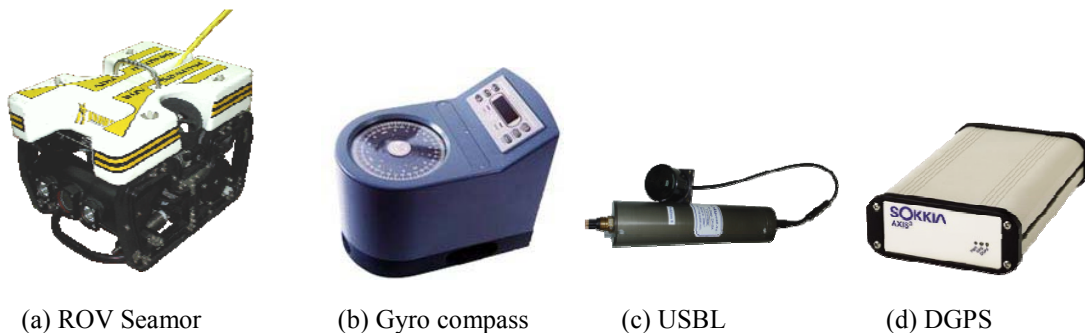


圖 50 與介面結合之硬體

6.2 軟體架構

軟體架構如圖 51 所示，包含感測資料融合以及圖形顯像兩個個獨立的處理程序。感測資料融合提供資料輸入的接收點，以便接收實際感測器資料，圖形顯像則接收從感測資料融合輸出的導航資訊。感測資料融合由 RS232 接收感測資料後，先進行資料抽取，獲得有意義的感測資料之後再將之進行融合，得到較為可信的 ROV 定位資料。當 ROV 定位資料傳送至圖形顯像處理程序時，圖形顯像處理程序一方面將 ROV 定位資料儲存於資料庫，另一方面則利用接收的資訊來更新導航資料，一旦導航資訊更新之後，3D 與 2D 圖形場景也會隨之更新。而資料庫內所儲存之 ROV 定位資料，還可以用於事後播放 ROV 整個運動程序，以瞭解 ROV 在任一時刻的運動狀態。

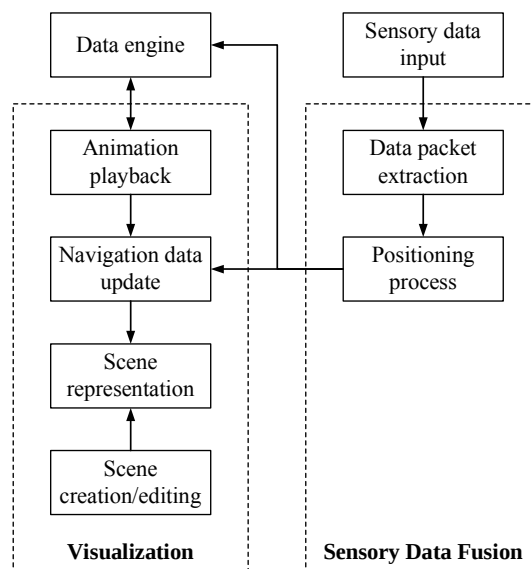


圖 51 系統軟體架構

6.3 水下定位應用在 ROV

整個介面系統能否發揮其功效的關鍵之一在於定位的精確度，包括水面定位與水下定位。在水面定位方面可以藉由 DGPS 達成工作船的定位，水面下的定位則藉由聲學定位來達成。聲學定位大致可分為長基線 (Long baseline)、短基線 (Short baseline)、以及超短基線 (Ultra short baseline)，其區別在於基線 (Baseline) 的距離。雖然長基線可以

獲得非常精準的水下定位，但其成本高、而且佈放與校正費時。所以若從成本、佈放效率來看，超短基線非常適合做 ROV 的水下定位。

為了方便求出 ROV 的絕對座標，我們訂定了四個座標系統 $S_0(x_0, y_0, z_0)$ 、 $S_1(x_1, y_1, z_1)$ 、 $S_2(x_2, y_2, z_2)$ 、 $S_3(x_3, y_3, z_3)$ ，如圖 52 所示。其中， S_0 是大地固定座標系統（例如 WGS84）， S_1 也是固定座標系統，不過其原點位於工作母船的質心。 S_2 則是附隨於工作船上的動座標系統，其質心位置與 S_1 系統相同。 S_3 是則是附隨於 USBL 的動座標系統，其原點位於 USBL 收發器上。令 $\mathbf{P}_0$ 為 DGPS 接收到的全球定位座標：

$$\mathbf{P}_0 = [P_{0x}, P_{0y}, P_{0z}, 1]^T \quad (25)$$

$\mathbf{r}_2$ 為 DGPS 接收器在 S_2 座標系統下的位置向量：

$$\mathbf{r}_2 = [r_{2x}, r_{2y}, r_{2z}, 1]^T \quad (26)$$

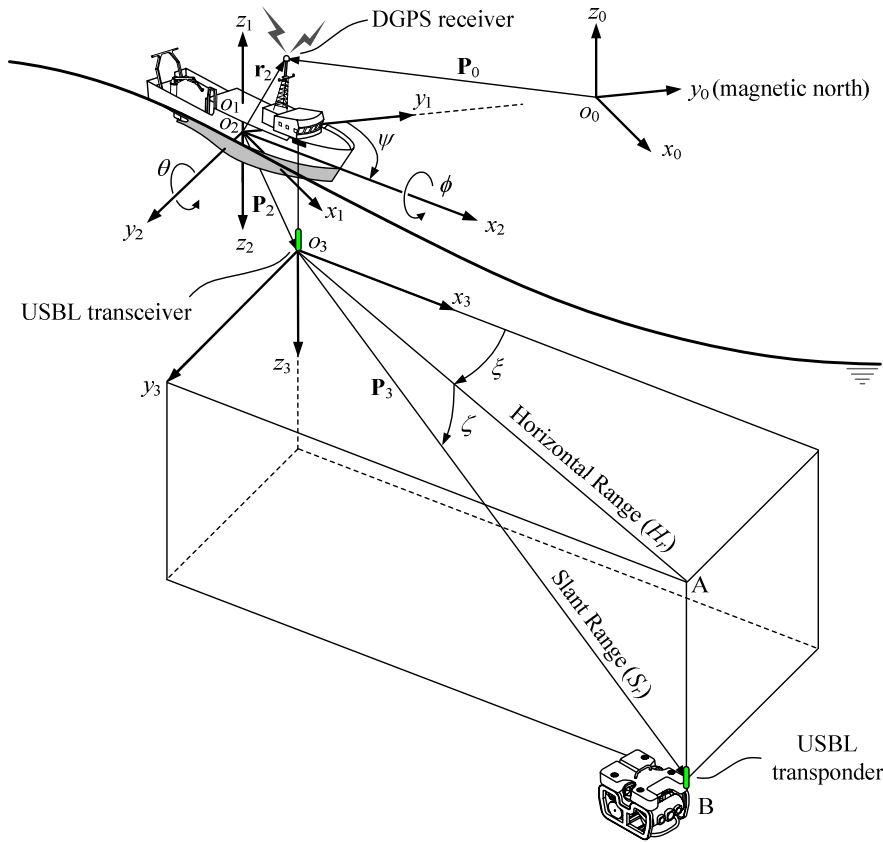


圖 52 ROV 定位座標系統

而 $\mathbf{P}_3$ 為 USBL 應答器在 S_3 座標系統下的位置向量：

$$\mathbf{P}_3 = [P_{3x}, P_{3y}, P_{3z}, 1]^T \quad (27)$$

根據圖 52 的參數定義，工作船的航向、俯仰角、以及橫搖角分別以 ψ 、 θ 、 ϕ 來表示，所以當船有連續的橫搖、俯仰、以及航向等旋轉運動時，座標系統 S_2 的旋轉矩陣可以表示為：

$$\mathbf{T}_2^{\psi\theta\phi} = \begin{bmatrix} \cos\psi & -\sin\psi & 0 & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi & 0 \\ 0 & \sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (28)$$

此外，由座標系統 S_2 至座標系統 S_1 的轉換矩陣為：

$$\mathbf{T}_{12} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{T}_2^{\psi\theta\phi} \quad (29)$$

由座標系統 S_3 至座標系統 S_2 的轉換矩陣則為：

$$\mathbf{T}_{23} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & P_{2x} \\ 0 & 1 & 0 & P_{2y} \\ 0 & 0 & 1 & P_{2z} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (30)$$

進行水下定位時，USBL 通常會提供斜距 (Slant range)、方向角 (Bearing angle)、以及俯角 (Depression angle) 等資訊。在此，我們以 S_r 、 ξ 、 ζ 分別來表示斜距、方向角、以及俯角。所以在求取 ROV 的位置時，可以先由 S_r 和 ζ 求出水平距離 H_r (Horizontal range)：

$$H_r = S_r \cos \zeta \quad (31)$$

而 ROV 在座標系統 S_3 下的深度則可以表示為：

$$P_{3z} = S_r \sin \zeta \quad (32)$$

所以 ROV 在座標系統 S_3 下的位置則表示為：

$$\mathbf{P}_3 = \begin{bmatrix} P_{3x} \\ P_{3y} \\ P_{3z} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_r \cos \xi \\ H_r \sin \xi \\ P_{3z} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (33)$$

將 ROV 的位置向量由座標系統 S_3 轉換至座標系統 S_0 ，則可以求得 ROV 的絕對座標位置：

$$\mathbf{P} = \mathbf{P}_0 - \mathbf{T}_{12}\mathbf{r}_2 + \mathbf{T}_{12}\mathbf{T}_{23}\mathbf{P}_3 \quad (34)$$

6.4 導航與定位介面

ROV 操控定位介面如圖 53 所示，它包含了下拉式的功能表、兩個圖形導航區、以及一個感測器讀數顯示區。左上角的圖形導航區是用來顯示 3D 虛擬實境場景的，場景包括研究船、ROV、地形、以及操作員自訂的 3D 物件。右上角的圖形導航區主要是用來顯示 2D 的 ROV 運動軌跡和工作船航跡。至於下方的感測器讀數區則包括了水下定位系統、DGPS、船體姿態、船的航向、ROV 航向、以及 ROV 深度等資訊。以下分別介紹此介面之虛擬場景、感測資料顯示、以及功能表。

1. 虛擬場景

為了讓操作員容易瞭解 ROV 與工作母船之間的空間相對位置，所以左上角的圖形導航區負責顯示 ROV、工作船、以及海底地形，而且是以三度空間的虛擬場景來呈現。不論是 ROV、工作船、或是地形，皆是以許多的多邊形面來建構。以 ROV 來說，其 3D 模型是根據 Inuktun Services Inc. 所製造的 Seamor ROV 來建構的，它也是中山大學海下所目前擁有的 ROV，其照片與建構後的 3D 模型如圖 54 所示。工作母船的 3D 模型則是根據中山大學海研三號研究船來建構的（圖 55），其建構後的 3D 模型如圖 56 所示。至於海底地形方面，本介面也根據多音束測深系統實測的地形資料，建構了一些台灣周遭海域的地形。例如圖 57 所示為台南安平外海的船礁區地形，地形上的突出物皆為船礁，其地形解析度為一公尺。除了大陸棚區域外，台灣周遭海域地形變化相當大，所以需要解析度數公尺以下的地形資料才較適合

ROV 導航。然而台灣周遭海域要取得數公尺以下的地形資料並不容易，而且資料量也會相當龐大。所以此介面包含了地形資料讀取系統，只要隨時取得新地形資料，並將地形資料建構成目前普及的 VRML 格式，便可經由此系統讀取地形資料，並直接顯示於 3D 圖形介面上。如此一來，介面程式便不會因 3D 地形資料龐大，而造成介面程式無法編譯，也可以降低介面程式執行檔案的大小。此外，一旦資料庫中沒有 ROV 作業當地的地形資料，此介面也可以讓操作員自行建構一個平坦的地形來代替，其深度可以參考工作船上 Echo sounder 的資料或是 ROV 深度計資料來設定，其地形範圍大小可以隨作業需要而變更，而且地形的材質貼圖也可以隨意變化。例如，圖 58 所示為自行設定之平坦海底地形。

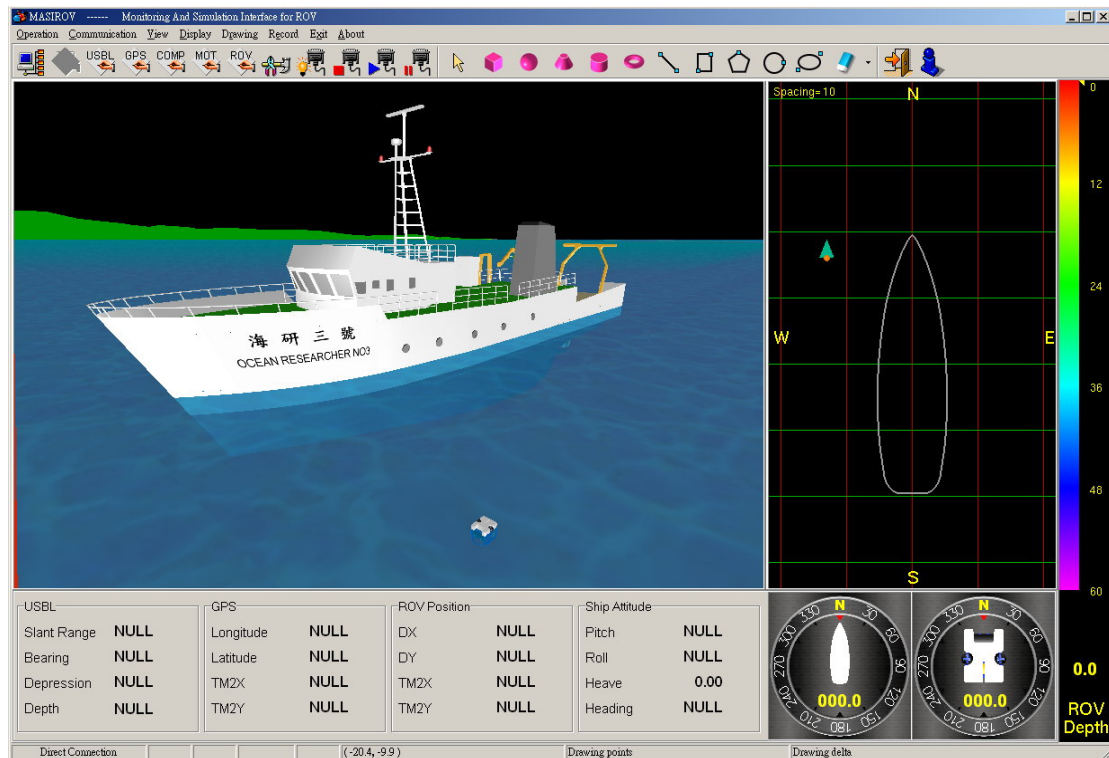


圖 53 ROV 操控導航介面

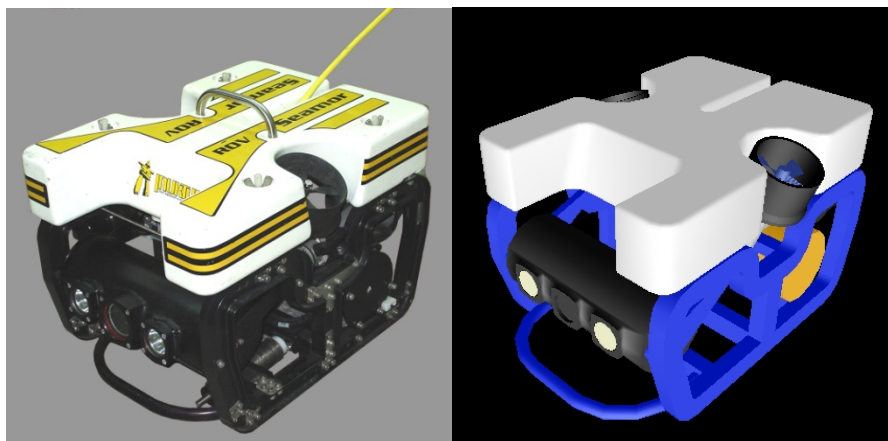


圖 54 ROV Seamor 照片(左)與 3D 模型(右)



圖 55 海研三號研究船

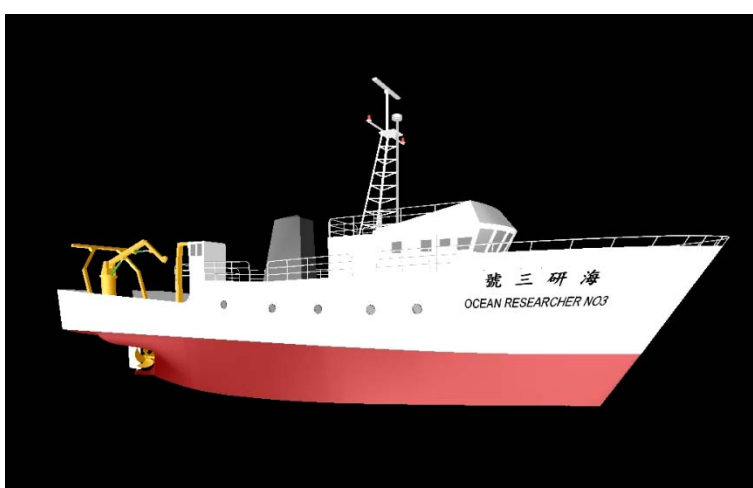


圖 56 海研三號研究船 3D 模型

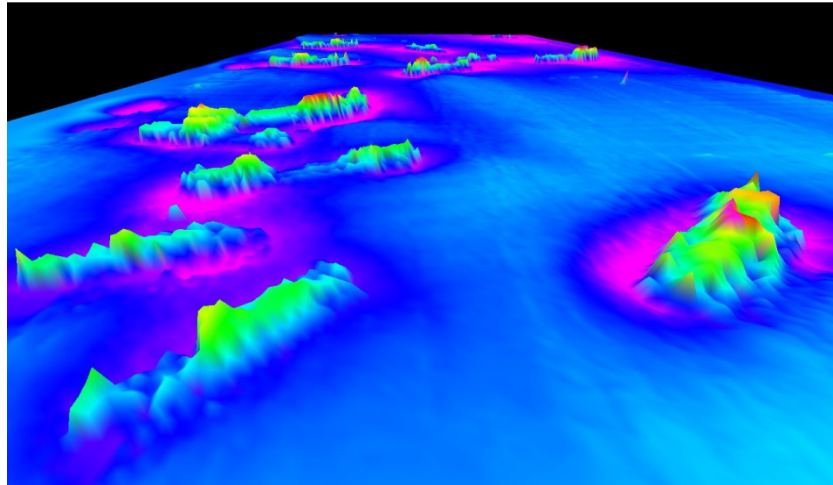


圖 57 安平外海船礁區地形

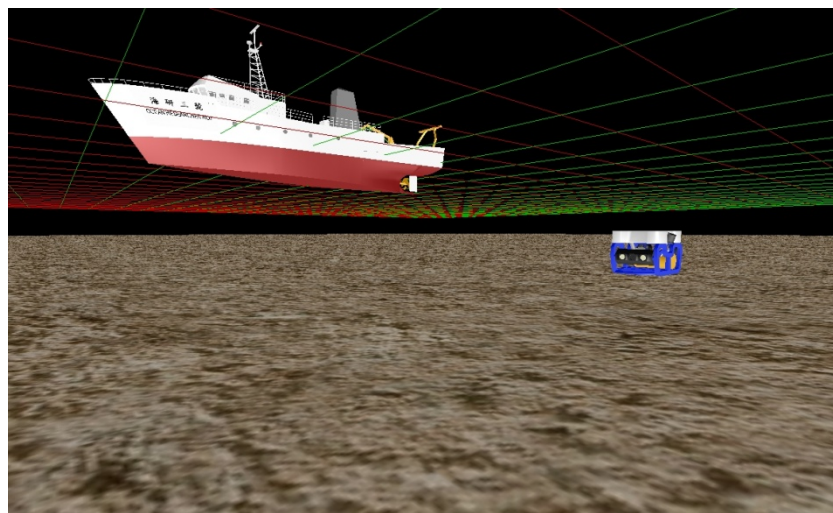


圖 58 操作員可以自行設定平坦地形並指定地形之貼圖材質

2. 感測資料顯示

在介面下方的感測讀數區，主要分為五個區塊。其中四個區塊是分別用來顯示水下定位系統、DGPS、ROV 位置、以及船體姿態，另外還有一個區塊是用來顯示 ROV 的航向和工作船的航向，如圖 59 所示。此外，ROV 與工作船的航跡也顯示在右上角的圖形導航區中，如圖 60 所示。透過 ROV 與工作船的航跡顯示，可以清楚掌握 ROV 的作業路徑。此外，由於 ROV 軌跡為 2D 顯示，為了同時顯示軌跡的深度資訊，所以 ROV 軌跡線會根據 ROV 當時的作業深度而以相對應的

顏色的顯示，所以透過 2D 導航區右邊的色彩深度對應，便能得知 ROV 各個航跡點的深度。

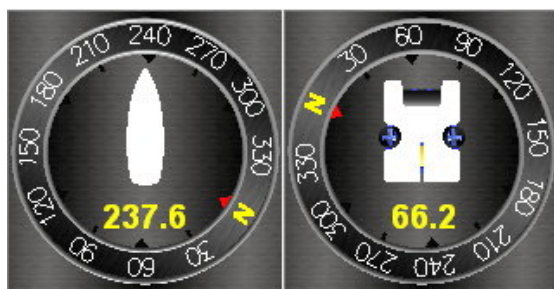


圖 59 工作船航向與 ROV 航向顯示

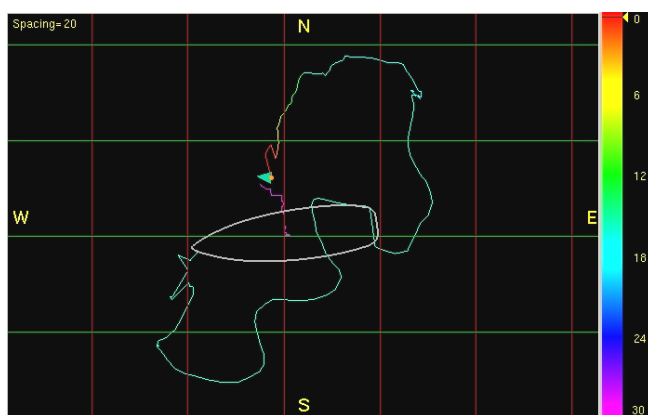


圖 60 ROV 軌跡與工作船軌跡顯示

3. 功能表

除了圖形顯示功能之外，導航介面還具備其他互動功能，讓 ROV 操作者可以藉由調整介面顯示設定來達到最合適的作業條件與顯示效果。這些功能如圖 61 所示，包括「Operation」、「Communication」、「Viewing」、「Display」、「Drawing」、「Data recording」、「Navigation aids」、「Playback utility」等八部分，以下分別說明其功能。

- (1) Operation 用來控制感測資料與介面連結的方式，可分為「直接連結 (Direct connection)」與「分散式運算 (Distributed computation)」兩種。直接連結是將感測器直接接上介面顯示電腦，直接擷取所需感測資訊。分散式運算是由另一台電腦接收並擷取感測資料，再將整理後的感測資料傳送到介面顯示電腦上。

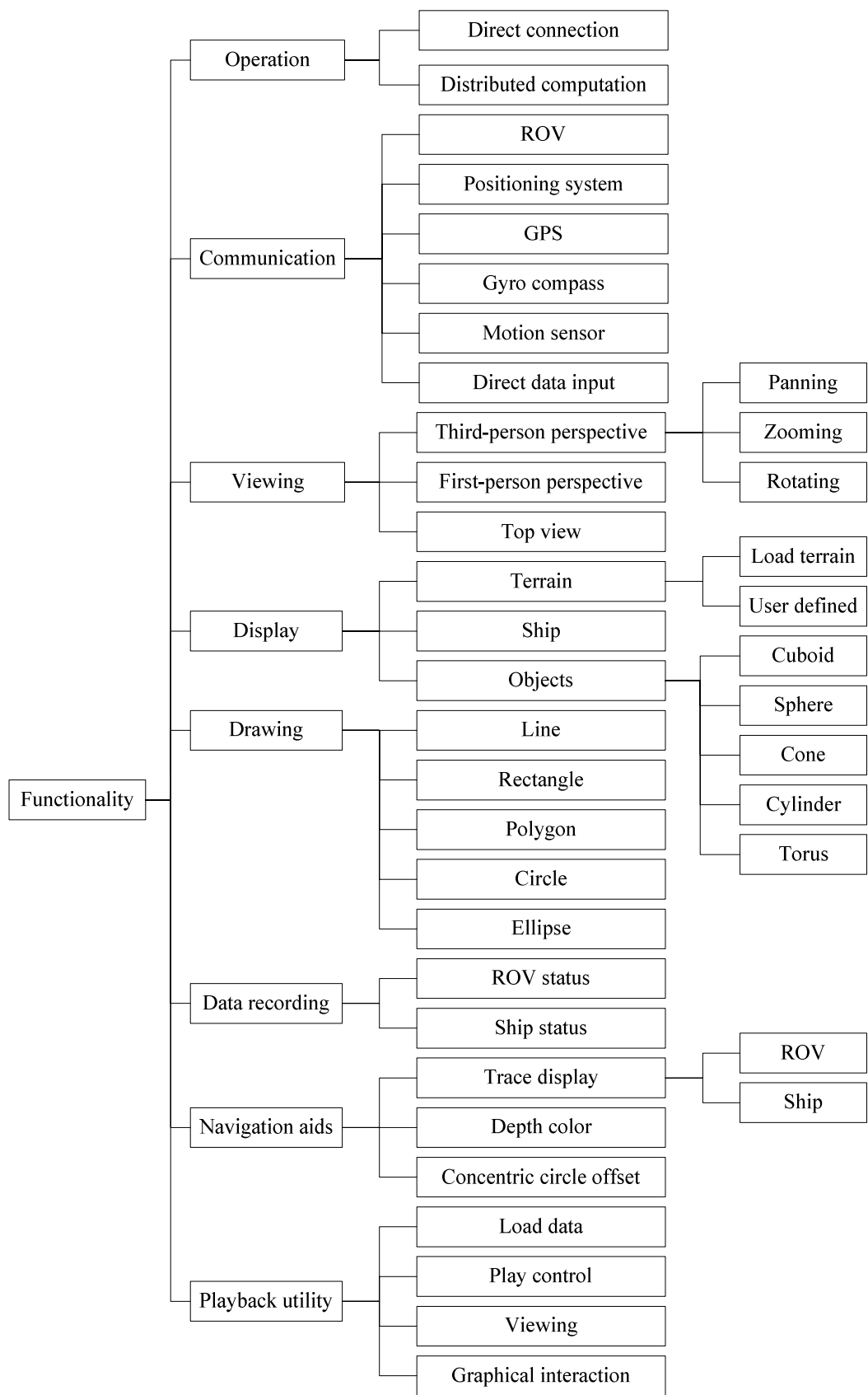


圖 61 介面功能表

- (2) Communication 是負責顯示介面與感測資訊之間的通訊設定。若感測器直接接上顯示介面，則所需的序列埠（Serial port）通訊對象包括 ROV、定位系統、DGPS、電羅經、以及運動感測器；若是間接接收感測資料，則只需負責另一台感測資料傳送電腦的序列埠通訊。
- (3) Viewing 用於切換 3D 虛擬實境中的觀測位置，主要有第一人稱視角（First-person perspective）與第三人稱視角（Third-person perspective）可供切換。第一人稱視角的觀測點位在 ROV 的攝影機上，相當於是透過 ROV 攝影機來觀看虛擬場景。第三人稱視角的觀測點位於 ROV 之外，可以同時觀測 ROV、工作船、以及其他虛擬場景，所以較適合用來輔助 ROV 導航。當以第三人稱視角顯示時，可以利用滑鼠來縮放、平移、以及旋轉虛擬場景，藉此調整最佳的觀測角度。
- (4) Display 用來顯示不同的工作船與不同的地形，同時也可以讓操作員建構各種形狀的物件佈放於場景之中。工作船的顯示是以海研三號為模型所建構的，為了考量電腦的運算效能，所以有簡易的和精緻的兩種海研三號模型可供操作員選用。若是電腦的顯示運算效能較差，可以選擇簡易的海研三號模型來顯示；若是電腦的顯示運算能力較強，則可以選擇精緻的海研三號模型來顯示。在地形顯示方面，操作員可以讀取資料庫中的任何地形資料，資料型態以 VRML 檔案來儲存。為了顧及電腦的顯示運算效率，同一區的地形資料也有許多不同解析度可供選擇。此外，為了輔助操作員辨認或標記海底特殊地物或特徵，在 Display 中也提供一些基本模型可供操作員建置於 3D 虛擬場景中，這些基本模型包括長方體（Cube）、球體（Sphere）、錐體（Cone）、圓柱體（Cylinder）、以及環形圓紋體（Torus）。圖 62 為在一平坦地形中建構一些 3D 模型，這些外加的 3D 模型如同地標一樣，有助於 ROV 導航。

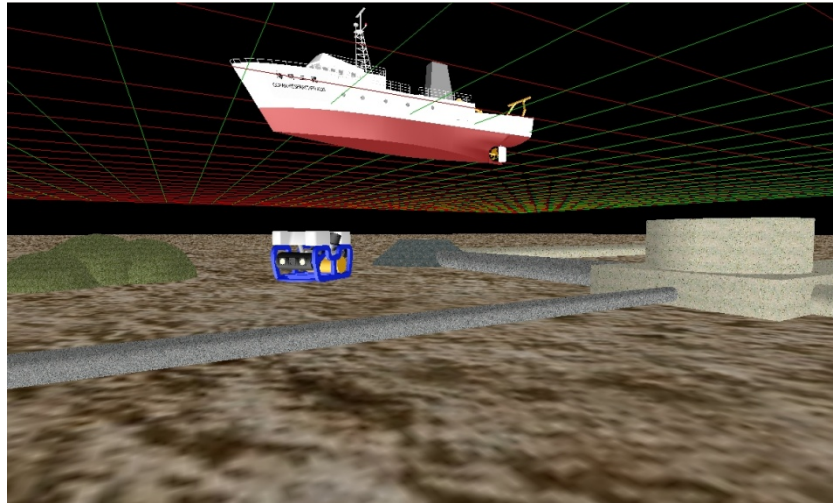


圖 62 於虛擬場景中建構 3D 物件

- (5) Drawing 包含了線、長方形、多邊形、圓形、橢圓形等繪圖功能，用於 2D 圖形介面中輔助操作員進行目標物標記，也可以輔助測線規劃。
- (6) Data recording 用來記錄 ROV 的所有運動狀態，也用來記錄工作船的運動狀態。記錄的資料包含了日期、時間、GPS 座標、ROV 的 TM2 座標、船艏向、ROV 航向、USBL 定位資料、船體姿態、ROV 水深、ROV 姿態等。
- (7) Navigation aids 用於輔助操作員來導航 ROV，其功能包含了 ROV 運動軌跡顯示、工作船運動軌跡顯示、軌跡顯示顏色隨深度變化、以及水表面輔助格線顯示。
- (8) Playback utility 用來重播 ROV 作業歷程的一舉一動，如圖 63 所示。重播介面包含功能表、3D 顯示、2D 顯示、以及感測數據資料顯示。在功能表中可以開啟任一航次之感測儲存資料，重播介面會自動計算資料長度（ROV 作業時間），同時也具有播放、暫停、終止等按鍵，可以調整播放速度。3D 顯示功能則用於顯示工作船與 ROV 之間的相對位置關係，可以透過滑鼠來旋轉和平移顯示畫面以變更視角，藉由不同的角度來觀測工作船與 ROV，同時也可以利用滑鼠控制畫面的縮放，以調整到最合適的觀測畫面。2D 顯示功能也是用於顯示工作船與 ROV 之間的相對位置關係，但僅限於 XY 平面，不過在 2D 畫面中可以顯示 ROV 和工作船的運動軌跡，同時以不同顏色來代表 ROV 的深度，讓操作者可以清楚瞭解 ROV 行經的區

域與其運動方向。此外，在 2D 圖形顯示面板也可以透過滑鼠來平移顯示畫面以變更操作員的觀測點，同時也可以利用滑鼠控制畫面的縮放，以調整到最合適的觀測畫面。

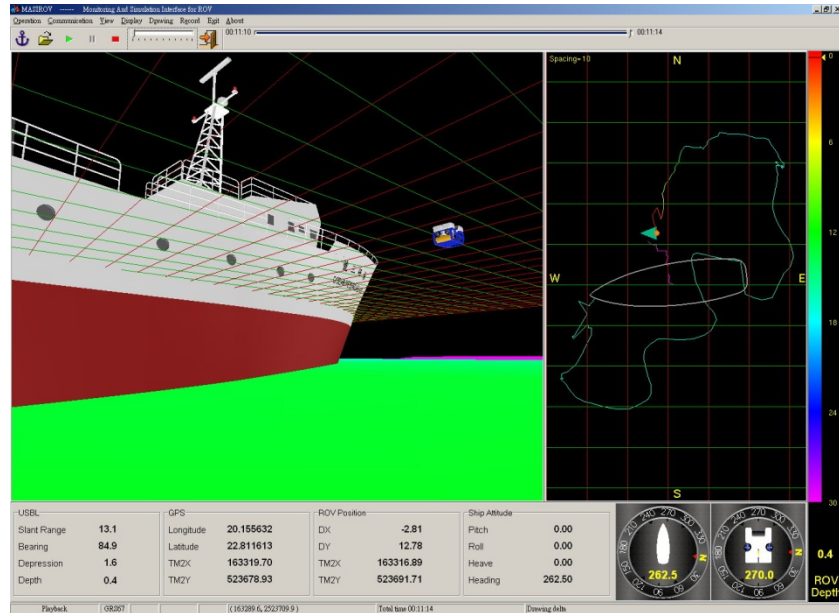


圖 63 重播介面

6.5 實海域測試

為了測試 ROV 定位導航軟體與硬體介面整合後的運作效果，有必要進行實海域導航測試與定位測試，測試最主要的目的是檢驗系統是否可以成功融合感測資訊、正確顯示 ROV 狀態與定位資訊。測試地點在高雄永安外海，TWD 67 座標位置為東經 120.155582 度、北緯 22.811712 度（圖 64 Site I），水深約為 25 公尺。到達測試地點後，船先下錨，然後將 USBL 收發器固定於船底，而應答器裝載於 ROV 上。接著佈放 ROV，並在 ROV 航行過程中，分別量測斜距、方向角、以及俯角。藉由這些資訊可以求得 ROV 相對於工作船的位置，再經由工作船的 GPS 座標和艏向，來求得 ROV 在水下的絕對位置。根據測試結果，此介面成功地掌握了 ROV 在水下的行蹤，其測試過程之重播畫面如圖 63 所示。

除了輔助 ROV 導航的功能之外，本介面也可提供其他載具作為定位監控介面，例如側掃聲納、底層剖面儀等，我們也在高雄外海利用此介面進行水下定位測試。測試的方法是將 USBL 應答器錨碇於海床，USBL 收發器則固定安裝於工作船舷外（沒水深度約 3 公尺），由工作船按照指定測線航行，同時接收應答器回傳的定位訊號，定位訊號經過座標轉換與船體姿態修正後，便將應答器的定位軌跡顯示於介面上。定位測試的地點在高雄港以西外海約 20 公里處，其 WGS84 GPS 座標位置為東經 120.083257 度、北緯 22.539157 度（圖 64 Site II），當地水深約為 350 公尺。根據測試結果，此介面成功地擷取定位信號，並將船跡、定位軌跡、以及其他導航資料正確地顯示在介面上。圖 65 為定位過程之重播畫面，右上方的圖形顯示面板上可以清楚地顯示工作船航行軌跡（以粉紅色線條顯示）以及 USBL 應答器的定位軌跡（以白色線條顯示）。理論上定位軌跡應為空間中一固定點，但從圖中可以看出定位軌跡是集中於一點附近呈現高斯分佈狀態，這是因為水下定位參數尚未修正、定位誤差尚未濾除所造成的結果。

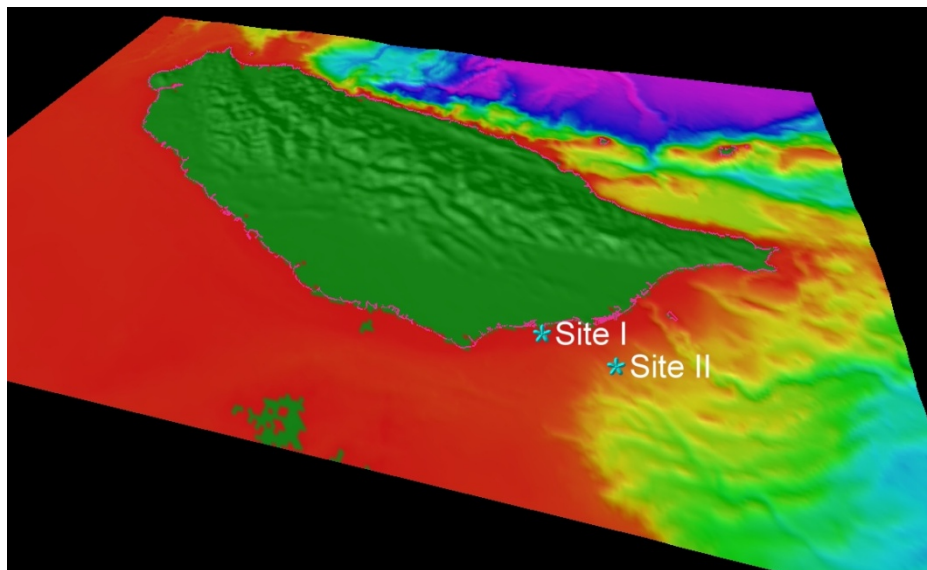


圖 64 導航域測試地點

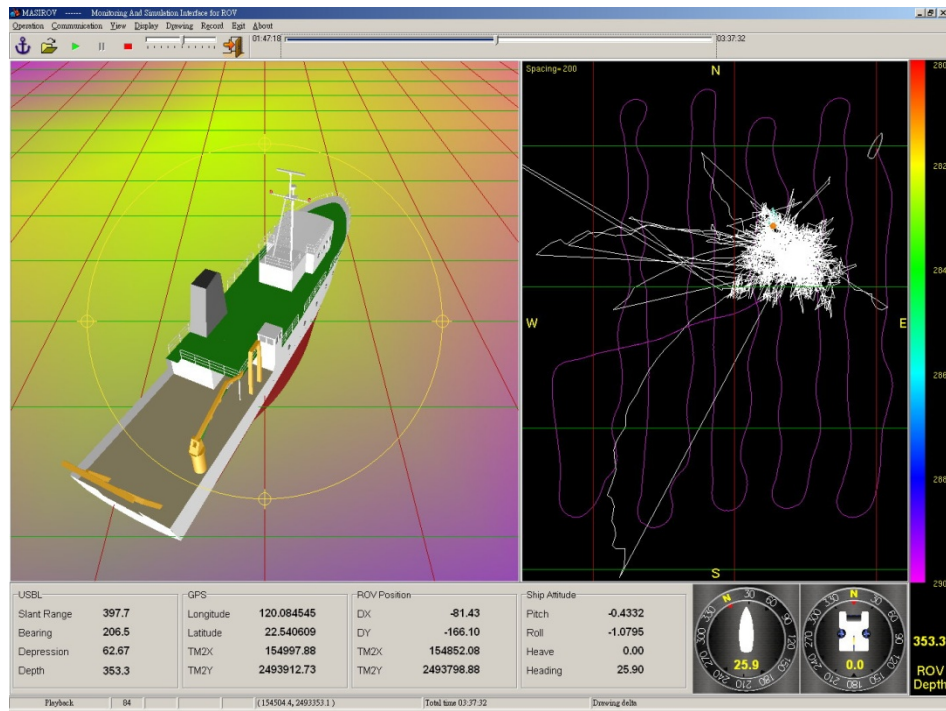


圖 65 高雄港外海定位測試重播畫面

第七章 結論與建議

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。

7.1 結論

本研究所獲得之結論有如下幾點：

1. 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. 本研究分析不同水深與不同半錐角對定位精度（ 1σ ）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 1 公尺、2.5 公尺、以及 3.5 公尺左右。此外，隨著半錐角增大，定位精度（ 1σ ）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 2 公尺以內。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。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。

3. 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。

7.2 建議

本研究之具體建議則有：

1. 建議繼續對於長基線之水下定位系統的精度進行深入探討。
2. 建議延續本研究之初步成果，完成長基線水下定位系統介面之開發。
3. 建議未來應將衛星定位作業模式，應用在多音束測深系統。

7.3 效益與應用情形

本研究之成果效益，以及可以提供本所或政府機關之後續應用情形有：

1. 提供各港務局設計規劃港灣工程運用，內政部國土規劃之參考，環保署有關海岸保育之參考。
2. 應用作為臺灣周邊海域及島嶼遙測影像的資料平臺，使得國土測繪更為精確。
3. 應用結合無人載具(UAV)及自動導航的相關技術，即時收集及擷取海岸資料。
4. 應用於海岸線變遷之調查，避免海岸開發錯誤所發生之機率。

參考文獻

1. International Hydrographic Organization, Feb 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 Hydorgraphic Services, Aug 1998, Standards for Hydrographic Surveys.
5. Canadian Hydorgraphic 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. Chen, HH (2008). “In-Situ Alignment Calibration of Attitude and Ultra Short Baseline Sensors for Precision Underwater Positioning,” *Ocean Engineering*, Vol 35, Nos 14–15, pp 1448–1462.
20. Chen, HH, and Wang, CC (2007). “Optimal Localization of a Seafloor Transponder in Shallow Water Using Acoustic Ranging and GPS Observations,” *Ocean Engineering*, Vol 34, No 18, pp 2385–2399.
21. Faugstadmo, JE, Jacobsen, HP, and Gunhildstad, TH (2002). “Transducer Aalignment and LBL Calibration,” *Proceedings of the MTS Dynamic Positioning Conference*, Houston, Texas, pp 1–36.
22. Gierusz, W, Cong Vinh, N, Rak, A (2007). “Maneuvering Control and Trajectory Tracking of Very Large Crude Carrier,” *Ocean Engineering*, Vol 34, No 7, pp 932–945.
23. Jouffroy, J, and Opderbecke, J (2007). “Underwater Vehicle Navigation Using Diffusion-Based Trajectory Observers,” *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol 32, No 2, pp 313–326.
24. Kinsey, JC, and Whitcomb, LL (2007). “In Situ Alignment Calibration of Attitude and Doppler Sensors for Precision Underwater Vehicle Navigation: Theory and Experiment,” *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol 32, No 2, pp 286–299.
25. McEwen, R, Thomas, H, Weber, D, and Psota, F (2005). “Performance of an AUV Navigation System at Arctic Latitudes,” *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol 30, No 2, pp 443–454.
26. Moreira, L, Fossen, TI, and Guedes Soares, C (2007). “Path Following Control System for a Tanker Ship Model,” *Ocean Engineering*, Vol 34, No

- 14, pp 2074–2085.
27. Opderbecke, J (1997). “At-Sea Calibration of a USBL Underwater Vehicle Positioning System,” IEEE/MTS OCEANS’ 97, Halifax, NS, Canada, Vol 1, pp 721–726.
 28. Philips, D (2003a). “An Evaluation of USBL and SBL Acoustic Systems and the Optimisation of Methods of Calibration-Part 1,” The Hydrographic Journal, Vol 108, pp 18–25.
 29. Philips, D (2003b). “An Evaluation of USBL and SBL Acoustic Systems and the Optimisation of Methods of Calibration-Part 2,” The Hydrographic Journal, Vol 109, pp 10–20.
 30. Whitcomb, LL, Yoerger, DR, and Singh, H (1999). “Advances in Doppler-Based Navigation of Underwater Robotic Vehicles,” Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Detroit, MI, USA, Vol 1, pp 399–406.
 31. 內政部，2003，領海及鄰接區海域基本圖測量規範(草案)。
 32. 交通部運研所，2003，港灣水域水深測量(草案)。
 33. 交通部運研所，2005，淺水域多音束量測水深技術研究(1/4)。
 34. 交通部運研所，2006，淺水域多音束量測水深技術研究(2/4)。
 35. 交通部運研所，2007，淺水域多音束量測水深技術研究(3/4)。
 36. 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情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

☒期中☐期末報告審查意見處理情形表

計畫編號： MOTC-IOT-98-H2DB007

計畫名稱：以水下自動化載具進行多音束測深之研究(1/4)

執行單位：國立中山大學海洋科技研究中心

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
蔡進發 教授： - 請計算出圖 26 經過補償後的定位精度。 - 請依儀器的精度修正報告中的數值的有效位數。 - 是否可算出α、β、γ的麥應(單位角度)可以直接反推偏差角度判視成功率為何？	- 圖 26 的補償前定位精度約為 50 公尺，補償後約為 20 公尺。 - 遵照委員意見辦理。 - 可約略估計。	- 已修正 - 已修正 - 已說明
黃明志 教授 - 本年度工作項目第二項「以多音束測深系統測量水下載具三維坐標之精度探討」以文義解釋可視為用多音束測深系統來測量水下載具位置，但實務操作上應只是用超短基線來測量水下載具位置，建議修正這大項標題。 - 船體運動建議中文標準譯名。	- 參照委員意見辦理，工作項目第二項修正為「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」。 - 參照委員意見辦理，本文船體運動名詞統一如下：橫搖角(roll)、縱搖角(pitch)及航偏角(yaw)角。	- 已修正 - 已修正
邱永芳 主任： - 請計畫主持人依據本所之研究主題與重點，檢討改進研究方向，期中審查結論與建議將列入期末審查追蹤考核。 - 政府機關研究計畫 GRB 表請計畫主持人趕快上網填寫。	- 遵照委員意見辦理。 - 遵照委員意見辦理。	- 列入期末追蹤 - 已填寫

附錄二 期末報告審查意見處理情形表

計畫編號： MOTC-IOT-98-H2DB007

計畫名稱：以水下自動化載具進行多音束測深之研究(1/4)

執行單位：國立中山大學海洋科技研究中心

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
張順雄 教授： 1. 期中報告委員意見部份應另表回覆修正結果。 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。 3. 水下定位系統介面開發宜考慮模組化及親切性規劃。 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。	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。 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。 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，本介面已是採用模組化設計理念。 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。	1. 已修正 2. 列入研究參考重點 3. 已修正 4. 已納入參考
劉景毅 教授 1. 成果具應用性，可改善深水區之測量精度。 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。	1. 感謝委員鼓勵。 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。	1. 已審查通過 2. 入列明年的重點研究項目

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
黃明志 教授 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」。 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。	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」。 2. 遵照委員意見辦理，該實驗進行時已設置一個壓力式深度計於底碇架上，將於期末修正報告時加入討論。	1. 已修正 2. 已納入報告書內容
余進利 組長： 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？ 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。	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，故本研究目前之水下載台是固定於海床上，因此並未受海流之影響。 2. 遵照委員意見補充，可參照 p20~p22。	1. 已說明 2. 已修正
邱永芳 主任： 1. 符合規劃需求。 2. 應用性上應事先再釐清。	1. 感謝委員肯定。 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，而本研究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。	1. 已審查通過 2. 已說明釐清

附錄三 期末報告審查簡報資料

交通部運輸研究所港研中心

以水下載具進行多音束測深之研究

期末簡報

國立中山大學

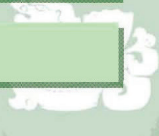
簡報日期:九十八年十一月十六日



1

簡報內容

1	前言
2	專案時程及工作進度說明
3	超短基線之水下定位系統的精度探討
4	以多音束測深系統測量水下載台底碇架三維坐標之精度探討
5	水下定位系統之介面開發
6	結論及建議



2

1-1、計畫背景分析

- 多音束測深系統的足印與水深成正比，而多音束測深系統演進至今，目前**音束束寬0.5度**是最高解析度
- 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。



3

1-2、本年度工作項目

A

超短基線之水下定位系統的精度探討

B

**以多音束測深系統測量水下載台底碇架
三維坐標之精度探討**

C

水下定位系統之介面開發



4

1-3、後三年工作計畫內容

第二年 (水下 導航)	以水下載具導航系統之規劃設計為主軸，探討水下多音束測深系統之整合技術及水下載具導航系統之規劃設計。
第三年 (系統 整合)	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 (展示& 應用)	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。

5

2、工作進度說明

工作項目	預定進度	實際進度	備 註
• 超短基線之水下定位系統的精度探討	100%	100%	
• 撰寫期中報告	100%	100%	
• 以多音束測深系統測量水下載具三維坐標之精度探討	100%	100%	
• 水下定位系統之介面開發	100%	100%	
• 撰寫期末報告(初稿)	100%	100%	

6

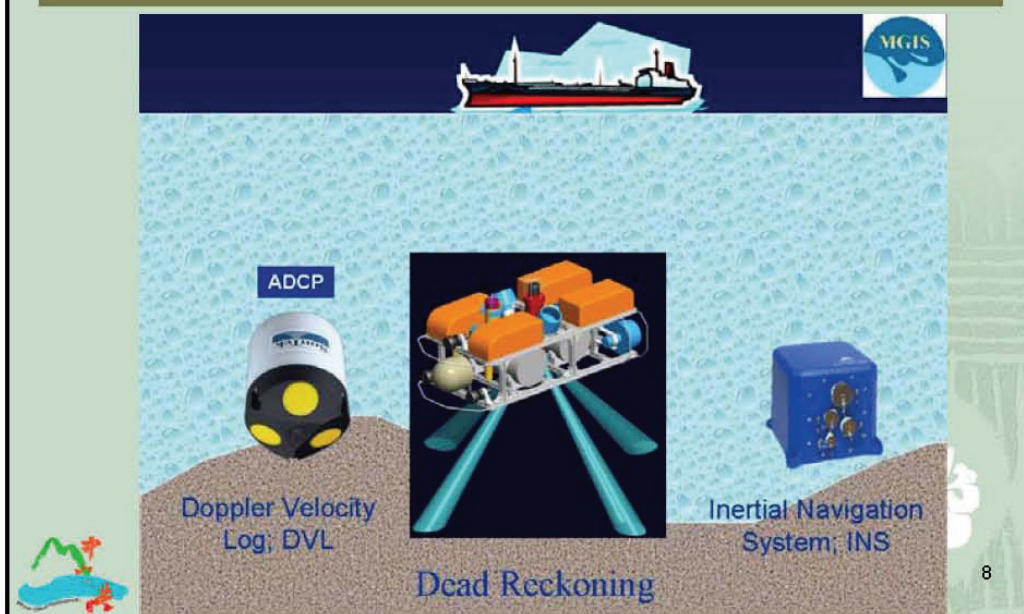
3-1、水下定位系統概述

- **航行位移推測(Dead Reckoning)**：航行位移推測常使用慣性導航系統(Inertial Measurement System; INS)或是都卜勒流速計(Doppler Velocity Log; DVL)，藉由航向、姿態、速度、時間來推算相對位移。
- **聲學式定位(Acoustic Positioning)**：1.長基線聲學定位(Long Baseline Acoustic System; LBL)。2.短基線聲學定位(Short Baseline Acoustic System; SBL)。3.超短基線聲學定位(Super Short Baseline Acoustic System; SSBL)。



7

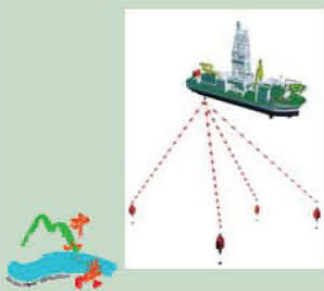
3-2、航行位移推測



8

3-3、水下聲學式定位原理概述

➤ LBL：基線距離可長達數公里，基站應答器固定在已知位置的海床上，欲求得收發器的位置。



➤ SBL: 基站固定在船隻底部，基線距離約5~20公尺，由於基站位置隨著船隻運動變化，除了需要進行船隻載具定位的修正，船隻載具的姿態 (heave, roll, pitch, yaw) 亦需修正。

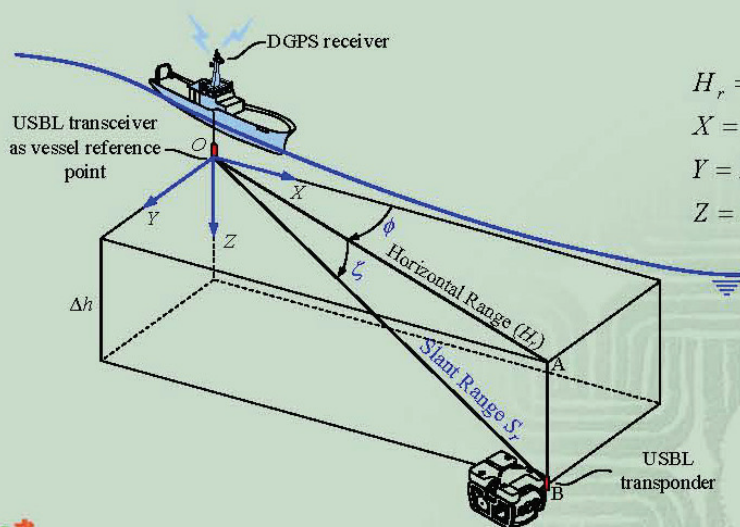


➤ SSBL: 基站在船隻底部且距離縮小至幾十公分內，因基線距離過短，測量計算原理由時間差，調整為相位差。



9

3-4、水下定位計算



$$H_r = S_r \cos \zeta$$

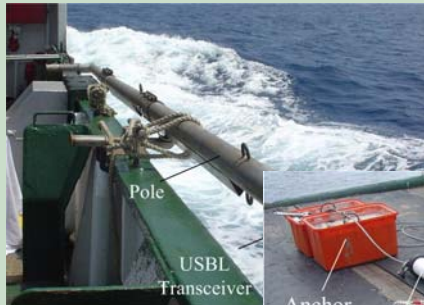
$$X = H_r \cos \phi$$

$$Y = H_r \sin \phi$$

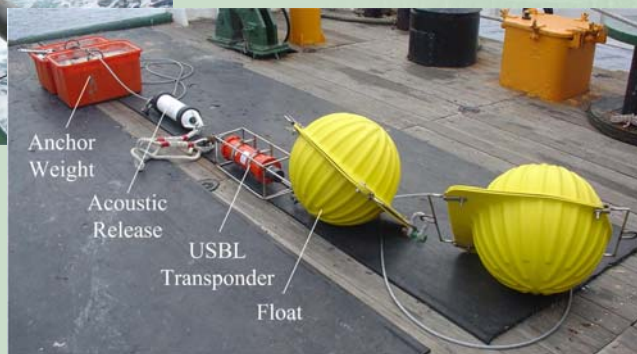
$$Z = S_r \sin \zeta$$

10

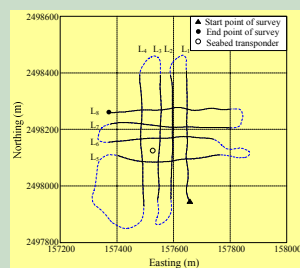
3-5、超短基線之率定



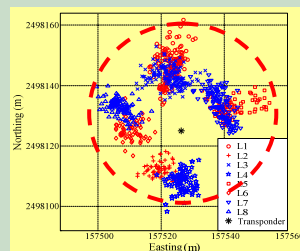
海床應答器定位量測



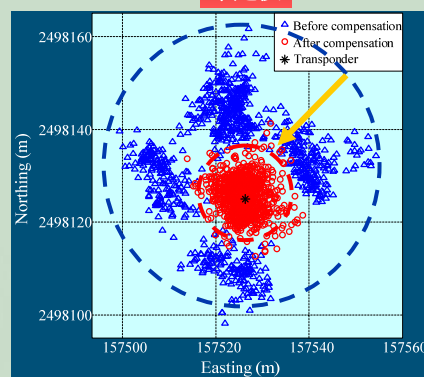
3-6、率定作業航跡及水下定位點分佈



率定前

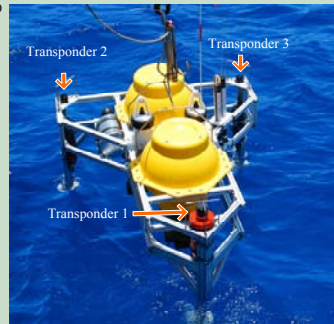


率定後



3-7、超短基線系統之水下定位精度量測分析

- 為進一步探討超短基線定位系統對水下目標物的定位精度，本研究選擇於三種不同水深（約為 30 m、70 m、110 m）佈放底碇應答器，在對準偏差校正演算之輔助下，測試超短基線定位系統的定位精度。

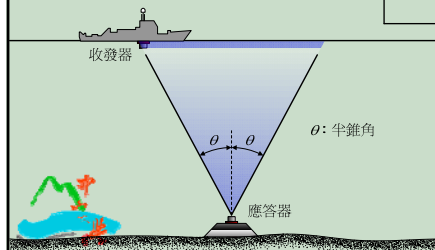


應答器	相對距離（公尺）
Transponders 1-2	1.505
Transponders 1-3	1.505
Transponders 2-3	1.160

13

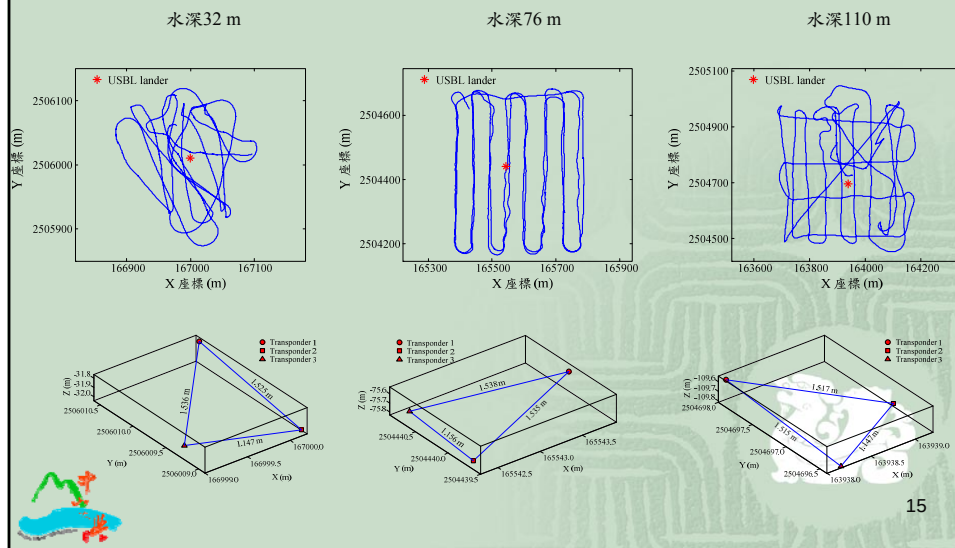
3-8、超短基線及相關儀器之規格

Instrument	Update Rate	Precision	Range
USBL positioning system	0.67 Hz	Slant range: 0.2 m	Slant range: 1000m, Beamwidth: $\pm 60^\circ$
GPS	1 Hz	RTK或PP模式可至10 cm以內	—
Motion sensor	30 Hz	Heading: 0.1° Pitch: 0.01° Roll: 0.01° Heave: 5 cm or 5% heave	Heading: No limitation Pitch: $\pm 180^\circ$ Roll: $\pm 180^\circ$ Heave: No limitation

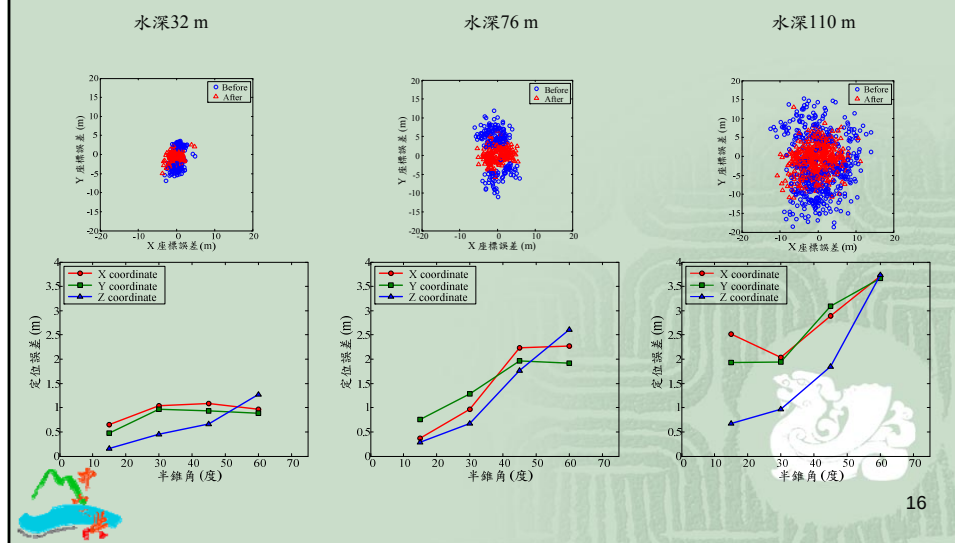


14

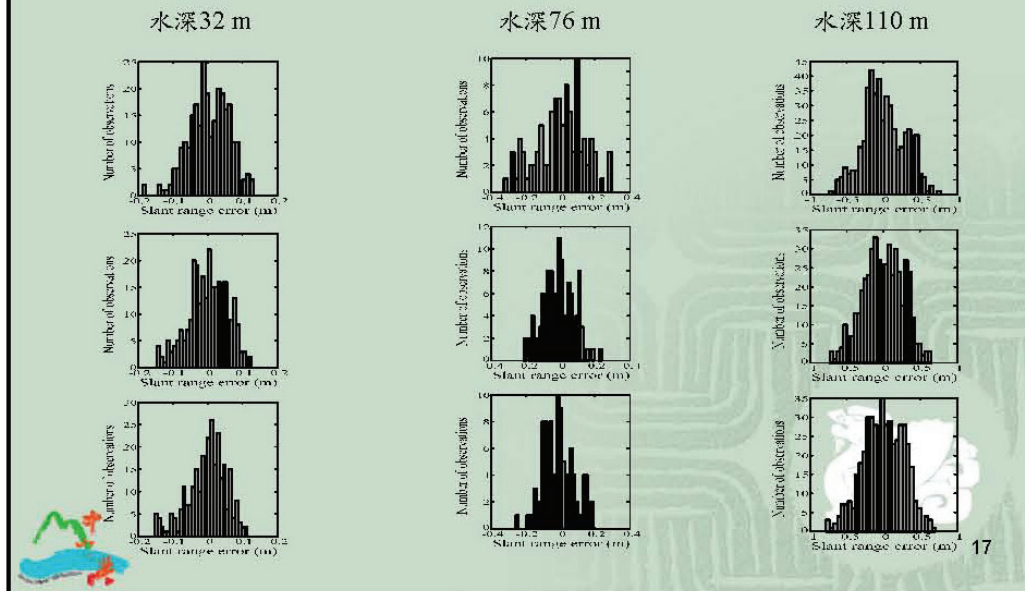
3-9、超短基線系統進行海床應答器定位作業之 船舶航行軌跡及定位位置



3-10、利用GPS與聲學斜距量測所估算的 三個應答器座標位置及誤差分析



3-11、利用GPS與聲學斜距量測所估算的三個應答器座標位置及誤差分析



4-1、多音束測深系統的誤差源

資料內容	資料特性	維度	測量儀器或方法
船隻規格(X, Y, Z)	固定平均值	長度	尺或測距儀
儀器相對位置(X, Y, Z)	固定平均值	長度	尺或測距儀
吃水(Draft)	動態平均值	長度	尺或測距儀
動態吃水(Dynamic Draft)	規則動態	長度	動態吃水檢驗
潮位(Tide)	慢速動態	長度	Tidal Gauge
聲速剖面(SVP)	代表性取樣	速度	SVP&CTD
MountAngle(Roll, Pitch, Yaw)	動態平均值	角度	Motion
音鼓安置角度(Roll, Pitch, Yaw)	動態平均值	角度	PatchTest
時間遲滯(Latency)	動態平均值	時間	PatchTest
船位坐標(P, L, H)	即時動態	長度	GPS
水深(Depth)	即時動態	長度	MB
船隻姿態(Heave, Roll, Pitch)	即時動態	長度&角度	Motion
航艙向(Gyro)	即時動態	角度	GyroCompass

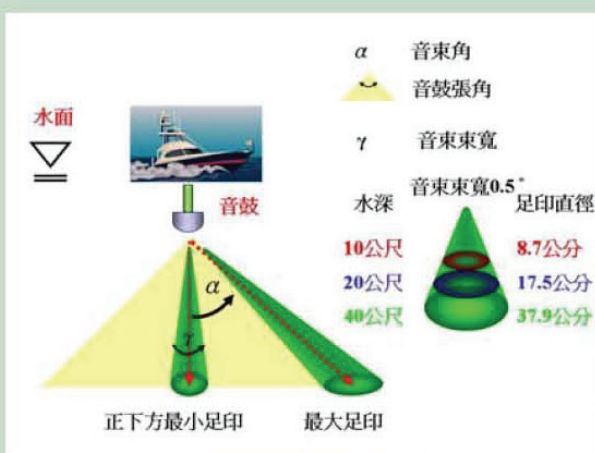
4-2、衛星定位模式

	差方式定位DGPS	即時動態差分RTK	量測精度
• BEACON	免費	X	2公尺
• SBAS	免費	X	2公尺
• FUGRO	約300USD/天	X	收斂後可達10公分
• 自行架站，使用無線電傳送差分訊號	免費	免費	DGPS：2公尺 RTK：收斂後可達10公分
• 自行架站，使用GSM傳送差分訊號	依照GSM服務收費標準	依照GSM服務收費標準	DGPS：2公尺 RTK：收斂後可達10公分
• 使用國土測繪中心eGPS	GSM服務收費標準+GPS收費標準	GSM服務收費標準+GPS收費標準	DGPS：2公尺 RTK：收斂後可達10公分

19

4-3、多音束聲納的足印(Footprint)尺寸

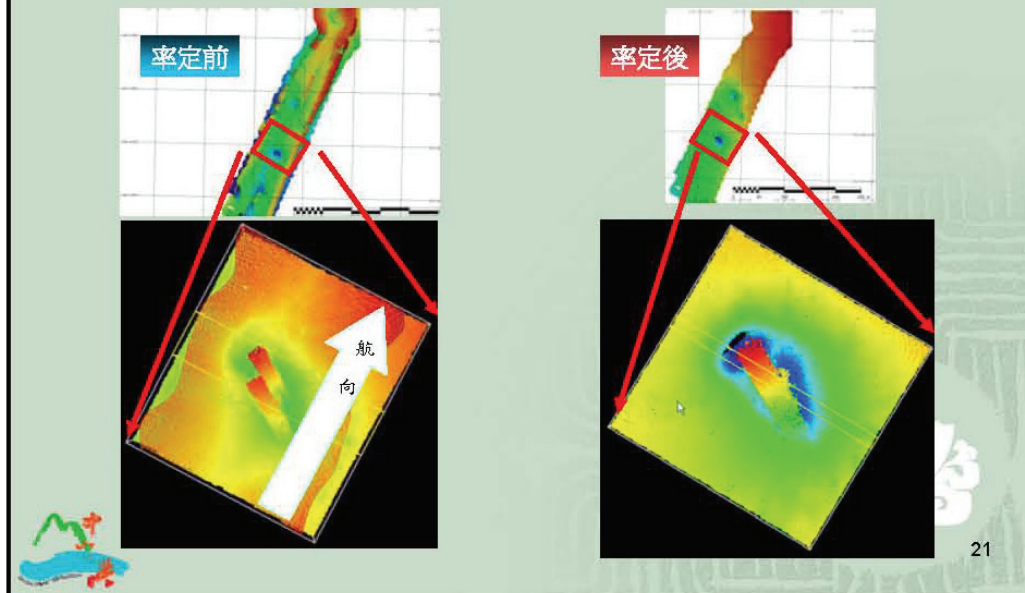
水深	正下方	60度
5	0.044	0.172
10	0.087	0.344
20	0.175	0.688
40	0.349	1.376
50	0.436	1.719
75	0.655	2.579
100	0.873	3.439
120	1.047	4.127



註：定位精度與足印尺寸必需互相配合

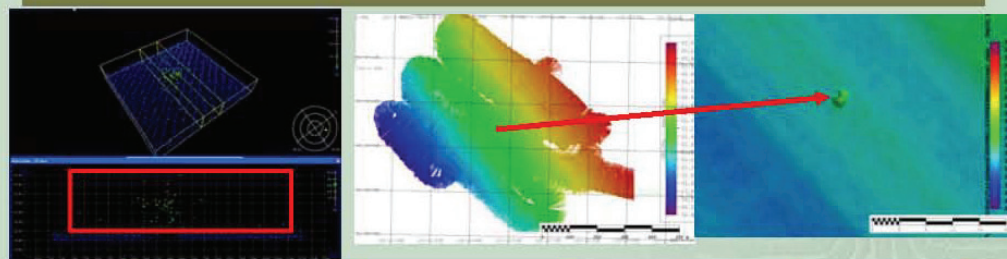
20

4-4、多音束測深系統率定(Patch Test)精度



21

4-5、多音束測深系統與水下定位系統量測結果比較



	N	E	Depth(公尺)
多音束測深值 39點平均值	22°-39'-1.71"	120°-12'-2.13"	-31.62
Transponder1	22°-39'-1.72275"	120°-12'-2.137014"	-31.76
Transponder2	22°-39'-1.67404"	120°-12'-2.139024"	-32.04
Transponder3	22°-39'-1.68638"	120°-12'-2.101134"	-32.00
水下定位平均值	22°-39'-1.69439"	120°-12'-2.25724"	-31.93
	dN(公尺)	dE(公尺)	dh(公尺)
差值	0.04683	0.015986	0.31

2

5、水下定位系統之介面開發

- 水下定位系統與水下載具結合時，必須進一步取得水下載具的深度、姿態、以及航向資料，才能整合成完整的導航定位系統。常見的水下載具包括AUV及ROV，本研究以ROV為應用對象，說明所發展之水下定位系統操作介面。



ROV Seamor



Gyro compass



USBL

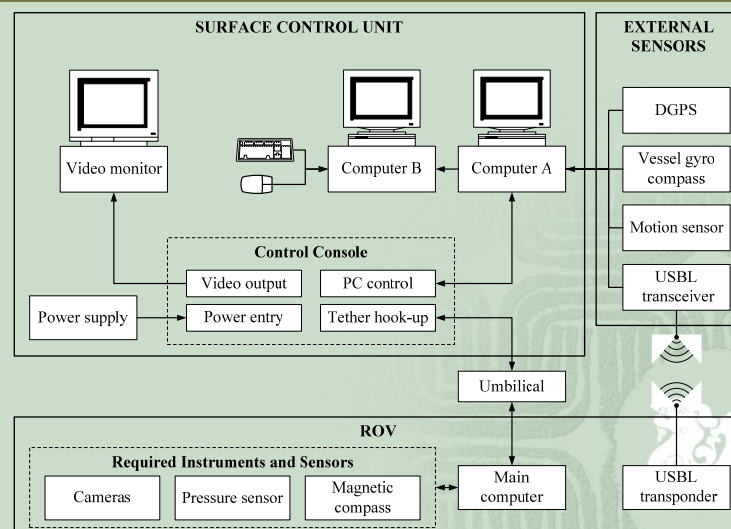


DGPS



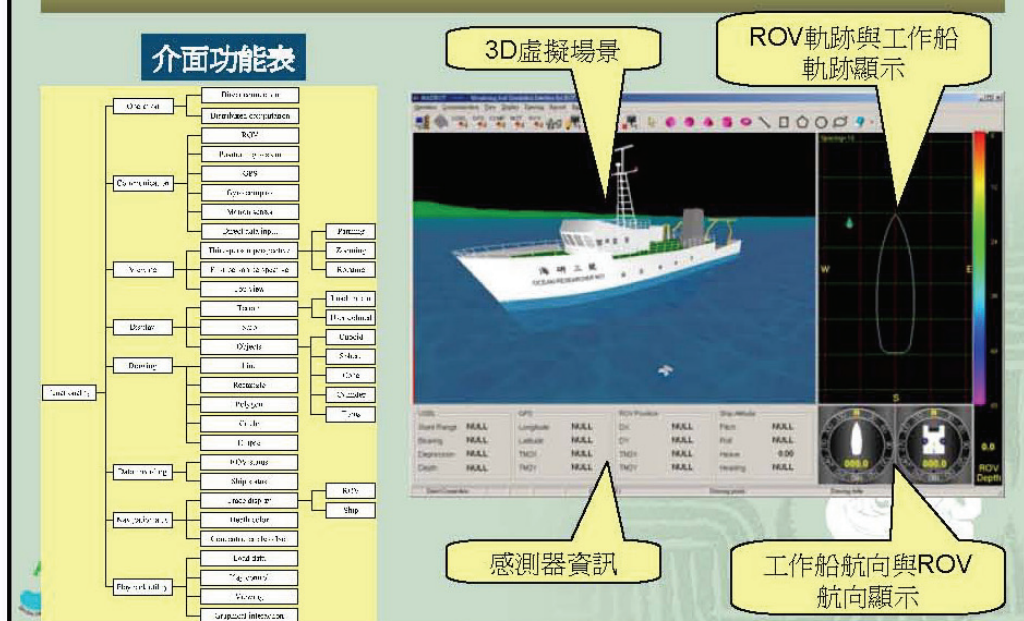
23

5-1、水下定位系統之系統硬體架構



24

5-2、導航與定位介面



6、結論(1)

- 本研究所採用之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**，有效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。



6、結論(2)

- 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。
- 本研究對於偏離航跡誤差有一套修正方法，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。



27

6、結論(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**0.047m, 0.016m**，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。



28

