

100-22-7514

MOTC-IOT-99-H2DB007

# 以水下自動化載具進行多音束 測深之研究(2/4)



交通部運輸研究所

中華民國 100 年 4 月

100-22-7514

MOTC-IOT-99-H2DB007

# 以水下自動化載具進行多音束 測深之研究(2/4)

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 100 年 4 月

100

以水下自動化載具進行多音束測深之研究  
(2/4)

交通部運輸研究所

GPN : 1010000315

定價 200 元

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(2/4)

/邱永芳等著.--初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，

民 100.04

面；公分

ISBN 978-986-02-7166-9 (平裝)

1. 海洋探測 2. 水中聲學

351.924

100002670

以水下自動化載具進行多音束測深之研究(2/4)

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](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 100 年 4 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 90 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：200 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:1010000315

ISBN：978-986-02-7166-9 (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(2/4)			
國際標準書號 (或叢刊號) ISBN 978-986-02-7166-9 (平裝)	政府出版品統一編號 1010000315	運輸研究所出版品編號 100-22-7514	計畫編號 99-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：80424 高雄市鼓山區蓮海路 70 號 聯絡電話：07-5255067	研究期間 自 99 年 3 月 至 99 年 11 月	
關鍵詞：多音束測深；水下定位；水下載具			
<p>摘要：</p> <p>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有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。</p> <p>本案為四年計畫之第二年，研究主題為 GPS 定位模式與水下定位相關課題，其內容包含：探討公尺級定位模式對多音束測深系統定位精度的影響，探討長基線水下定位的定位精度及長基線水下定位系統之導航介面開發等。</p> <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
100 年 4 月	116	200 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。
<p>機密等級：</p> <p><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)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
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: Multibeam Echo Sounding on Automatic Underwater Vehicle (2/4)			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-986-02-7166-9 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010000315	IOT SERIAL NUMBER 100-22-7514	PROJECT NUMBER 99-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 2010 TO November 2010
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			
<p>Traditionally, multi-beam bathymetric technology is mostly installed on vessels as vehicle, but waves, coastal currents, and tides easily have impacts on the motions of a ship includes roll, pitch, heave, and yaw. This causes the quality of bathymetric data various and needs to spend more time to do Quality Assurance/Quality Control. However, the footprint of multi-beam bathymetric is 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. For surveying in 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.</p> <p>The theme of the second year of this four-year project is regarding to the mode of GPS positioning and underwater positioning. This research includes: exploring decimeter positioning accuracy of GPS relating to multibeam echo sounding, investigating the positioning accuracy of the long baseline underwater positioning system and developing a navigation interface for it.</p> <p>This research benefit and application include:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Achieve the accuracy of ultra short baseline positioning.</li> <li>2. Finish the positioning accuracy of the multibeam mounted on an underwater vehicle.</li> <li>3. Complete the interface of underwater positioning system.</li> </ol>			
DATE OF PUBLICATION April 2011	NUMBER OF PAGES 116	PRICE 200	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
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 預期成果 .....	1-5
1.6 專案時程 .....	1-6
1.7 工作進度說明 .....	1-7
1.8 報告內容 .....	1-8
第二章 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探討 .....	2-1
2.1 研究方法及進行步驟 .....	2-1
2.2 多音束測深系統之精度探討 .....	2-5
2.3 衛星定位模式精度 .....	2-8
2.4 多音束聲納的足印(Footprint)尺寸 .....	2-16
2.5 多音束測深系統疊合測量(Patch Test)精度 .....	2-22
2.6 RTK 及 PP 的應用在多音束測深精度比較 .....	2-34

第三章	長基線水下定位系統之介面開發 .....	3-1
3.1	水下載具與定位 .....	3-1
3.2	長基線定位原理與數值模擬 .....	3-5
3.3	長基線定位資料接收介面與導航介面 .....	3-9
第四章	長基線水下定位系統的精度探討 .....	4-1
4.1	實驗作業規劃 .....	4-1
4.2	實海域量測 .....	4-4
4.3	長基線定位資料分析 .....	4-9
4.4	長基線與超短基線定位精度比較 .....	4-15
第五章	結論與建議 .....	5-1
5.1	結 論.....	5-1
5.2	建 議.....	5-2
5.3	成果效益與後續應用情形 .....	5-3
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	期中簡報資料.....	附 3-1
附錄四	期末簡報資料.....	附 4-1



## 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 定位精度和足印示意圖.....	2-7
圖 2.2 廣域增強系統示意圖.....	2-13
圖 2.3 廣域增強系統示意圖.....	2-14
圖 2.4 單音束足印尺寸.....	2-16
圖 2.5 多音束足印尺寸.....	2-17
圖 2.6 聲納主波與副波的量測誤差.....	2-18
圖 2.7 寬音束束寬及窄音束束寬量測誤差示意圖.....	2-18
圖 2.8 音束束寬 1.5 度等足印圖(音束角 60 度以內).....	2-19
圖 2.9 音束束寬 0.5 度等足印圖(音束角 60 度以內).....	2-20
圖 2.10 音鼓安置角度示意圖.....	2-23
圖 2.11 疊合測量(Patch Test)條件.....	2-24
圖 2.12 時間遲滯(Positioning time delay).....	2-25
圖 2.13 左右搖擺(Roll).....	2-26
圖 2.14 前後傾斜(Pitch).....	2-27
圖 2.15 船艏旋轉(Yaw).....	2-28
圖 2.16 疊合測量(Patch Test)目標物-標準貨櫃.....	2-29
圖 2.17 疊合測量(Patch Test)目標物-傾斜貨櫃.....	2-30
圖 2.18 貨櫃尺寸大小.....	2-30
圖 2.19 率定參數(L,P,R,Y)為(0,0,0,0)水深色階圖.....	2-31

圖 2.20	率定參數(L,P,R,Y)為(0,0,2.5,0)水深色階圖 .....	2-32
圖 2.21	率定參數(L,P,R,Y)為(0,7,2.5,0)水深色階圖 .....	2-33
圖 2.22	蘇澳港 GPS 基站照片 .....	2-36
圖 2.23	蘇澳港 RTK 航跡圖 .....	2-37
圖 2.24	蘇澳港 PP 航跡圖 .....	2-37
圖 2.25	蘇澳港 RTK&PP 航跡放大比較圖(紅色 PP,綠色 RTK).....	2-38
圖 2.26	蘇澳港 2 公尺網格 PP 水深色階圖 .....	2-39
圖 2.27	蘇澳港 2 公尺網格 RTK 水深色階圖 .....	2-39
圖 2.28	海床上輪胎之位置偏移約 1.5 公尺.....	2-40
圖 2.29	多音束量測水下垂直結構物足印示意圖.....	2-41
圖 2.30	RTK&PP 量測水下垂直結構物的差異 .....	2-42
圖 3.1	長基線聲學定位(LBL)示意圖 .....	3-3
圖 3.2	短基線聲學定位(SBL)示意圖 .....	3-3
圖 3.3	超短基線聲學定位(SSBL)示意圖 .....	3-4
圖 3.4	應答器陣列擺放示意圖 .....	3-7
圖 3.5	詢答時間間隔為 1 秒時，不同船速下之定位估算誤差 .....	3-8
圖 3.6	詢答時間間隔為 3 秒時，不同船速下之定位估算誤差 .....	3-8
圖 3.7	系統硬體架構.....	3-9
圖 3.8	系統軟體架構.....	3-10
圖 3.9	長基線定位系統.....	3-12
圖 3.10	長基線定位資料接收介面.....	3-13
圖 3.11	ROV 定位導航介面 .....	3-13
圖 4.1	應用最佳化方法估算應答器位置之流程.....	4-3
圖 4.2	佈放長基線應答器.....	4-4

圖 4.3 潛水伏協助應答器佈放與回收.....	4-5
圖 4.4 收發器詢答各支應答器的航行軌跡.....	4-5
圖 4.5 CTD 量測所推算出水層聲速剖面.....	4-6
圖 4.6 四支應答器位置.....	4-6
圖 4.7 定位四支應答器之斜距殘差.....	4-7
圖 4.8 長基線定位實驗之收發器詢答軌跡.....	4-8
圖 4.9 詢答時間間隔 2 秒之長基線定位結果與定位誤差.....	4-9
圖 4.10 詢答時間間隔 3 秒原始定位誤差.....	4-10
圖 4.11 詢答時間間隔 4 秒原始定位誤差.....	4-10
圖 4.12 詢答時間間隔 5 秒原始定位誤差.....	4-11
圖 4.13 藉由速度感測資料預測收發器位置以改善長基線定位誤差.....	4-12
圖 4.14 利用橫向與縱向的速度修正後與原始定位誤差比較(詢答 時間間隔 2 秒).....	4-13
圖 4.15 利用橫向與縱向的速度修正後與原始定位誤差比較(詢答 時間間隔 3 秒).....	4-13
圖 4.16 利用橫向與縱向的速度修正後與原始定位誤差比較(詢答 時間間隔 4 秒).....	4-14
圖 4.17 利用橫向與縱向的速度修正後與原始定位誤差比較(詢答 時間間隔 5 秒).....	4-14
圖 4.18 感測器對準偏差校正前後之超短基線定位誤差.....	4-16
圖 4.19 超短基線定位誤差隨半錐角增加而變大.....	4-17
圖 4.20 修正後之長基線 X 座標與 Y 座標定位誤差.....	4-18

## 表 目 錄

表 1.1 預定進度甘特圖(Gantt Chart) .....	1-6
表 1.2 工作進度說明 .....	1-7
表 1.3 繳交成果及繳驗時程表 .....	1-7
表 2.1 多音束測深系統儀器規格表 .....	2-2
表 2.2 NMEA 定位模式代碼表 .....	2-10
表 2.3 衛星定位模式 .....	2-10
表 2.4 衛星定位模式的優缺點 .....	2-11
表 2.5 Reson 8125 多音束聲納足印尺寸表(單位:公尺).....	2-21
表 2.6 即時動態差分定位及後期處理比較表 .....	2-34
表 2.7 RTK 及 PP 之疊合測量(Patch Test)結果 .....	2-38
表 4.1 長基線 PinPoint 1500 系統規格 .....	4-2
表 4.2 應答器座標位置 .....	4-6

# 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左右搖擺(roll)、前後傾斜(pitch)、上下起伏(heave)、船艙旋轉(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二年，由第一年的研究結果顯示，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，不過其定位精度仍舊有很大的改善空間。要得到更高品質、更高精度的測深資料，勢必進一步提升測深系統的定位精度，因此本年度的研究主題重點將集中在水面定位精度和水下定位精度的提升。

水面定位精度除了可由 DGPS 和 RTK 即時定位模式獲得公分級和 10 公分以內的精度，分析 GPS 原始資料並執行後期處理(post-processing)解算同樣可獲得高精度的定位品質，並且可減少 DGPS 和 RTK 資料即時傳輸時可能發生訊號不穩定的問題。本研究將探討 GPS 之即時定位與後處理方式，分析其作業模式及定位精度差異。

超短基線水下定位系統的優點是易於安裝，且作業方便，但實際上長基線水下定位系統的定位精度是優於超短基線的。雖然使用長基

線定位系統的校正與作業時間會比使用超短基線系統還長，但在提升水下定位精度的需求考量下，本研究案擬定第二年的研究主題為「長基線系統之水下定位精度探討」。

長基線水下定位系統同樣必需面對水下載具的航行安全問題，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，開發長基線水下定位系統之導航介面是本研究另一項重要課題。

## 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。

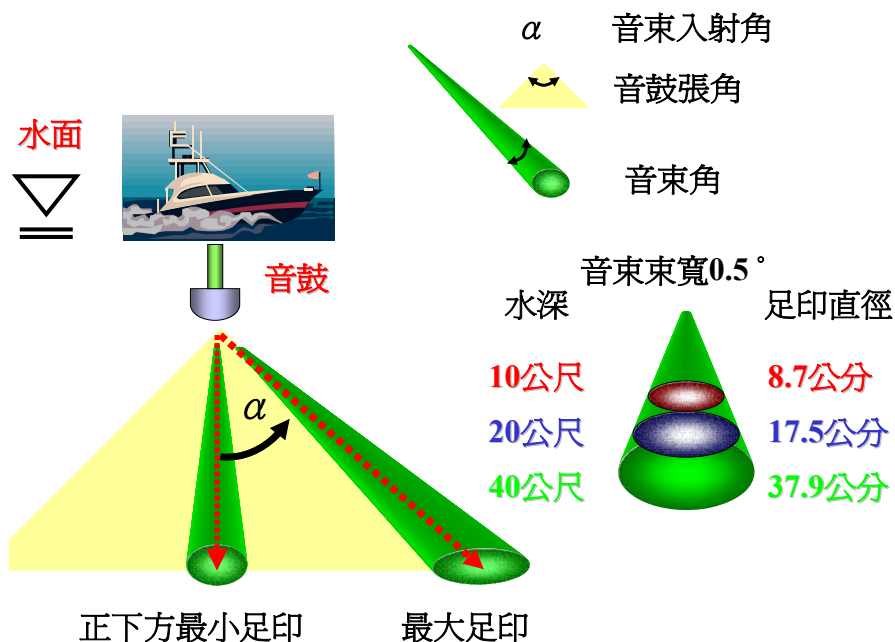


圖 1.1 足印與水深關係示意圖

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。

以水下自動化載具進行多音束測深系統之研究

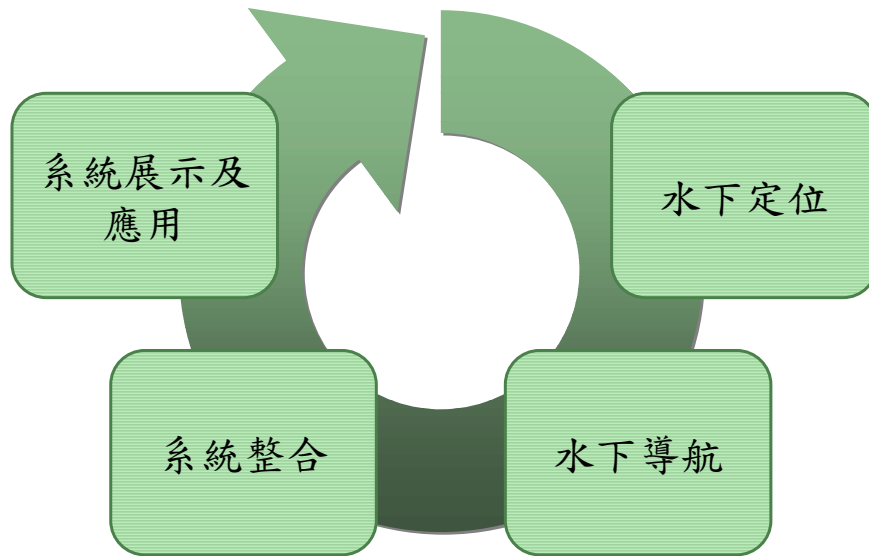


圖 1.2 四年工作計畫流程圖

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

本年度研究案著重在探討提升水下定位系統，及在水面定位的作業方法及模式。在水下定位範疇內，去年度是以容易安裝佈放的超短基線定位系統為主。為了進一步提升水下定位精度，以符合多音束測深的精度需求，今年擬以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及其定位精度，並配合其應用層面進行導航介面開發。

水面定位研究則將探討後期處理(Post-Processing)模式與衛星即時動態定位(RTK)模式的定位精度差異，並探討這兩個模式對多音束測深系統定位精度的影響。

### 1.4.2 工作項目

本年度之工作項目包括以下三項：

1. 長基線系統之水下定位精度探討。
2. 長基線水下定位系統之導航介面開發。
3. 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探討。

## **1.5 預期成果**

### **1.5.1 本年度(第二年)預期成果**

1. 完成長基線水下定位精度之分析探討。
2. 完成長基線水下定位界面之開發。
3. 提升多音束測深系統的定位精度作業模式。

### **1.5.2 計畫效益及其應用**

1. 可以協助國內各相關單位(例如：港務局、內政部國土測繪中心、交通部運研所港研中心或經濟部水利署等)探討如何提升水深測量之解析度。
2. 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。
3. 可以應用在多音束測深與側掃聲納之間不同資料的整合。
4. 可以應用在改善測量船隻與多音束測深儀作業整合的技術。

## 1.6 專案時程

表 1.1 預定進度甘特圖(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
水下定位系統(長基線)之介面開發			※	--	--	※	--	--	--	※			
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探討				--	--	※	--	--	--	※			
期中報告					--	※							
長基線之水下定位系統的精度探討					--	--	--	--	--	※			
期末報告									--	※			
工作進度估計百分比(累積數)			10	20	30	50	60	70	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)。												
<p>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。</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p>													

## 1.7 工作進度說明

表 1.2 工作進度說明

工作項目	預定進度	實際進度	備註
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探討	100%	100%	
長基線水下定位系統之介面開發	100%	100%	
撰寫期中報告	100%	100%	
長基線水下定位系統的精度探討	100%	100%	
撰寫期末報告	100%	100%	

表 1.3 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	99年06月25日
期末報告	期末報告初稿十份	99年11月04日

## **1.8 報告內容**

### **1.8.1 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：研究方法及進行步驟。

第三章：專案時程及工作進度說明。

第四章：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探討。

第五章：長基線水下定位系統之介面開發。

第六章：期中結論及未來工作。

### **1.8.2 期末報告內容**

第一章：前言：說明本案研究目的、工作項目、期程及進度說明。

第三章：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探討。

第四章：長基線水下定位系統之介面開發。

第五章：長基線水下定位系統的精度探討。

第六章：結論及未來研究方向。

## 第二章 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 精度探討

### 2.1 研究方法及進行步驟

多音束測深系統及水下定位系統皆需要高精度的水面定位系統，以取得量測時的多音束音鼓絕對坐標，因此使用衛星定位模式的精度誤差，必然會傳播至多音束測深及水下定位結果。本章節探討可能達到公分至公寸級的衛星定位模式，並比較各模式的優缺點，以提供使用者參考及應用。

#### 2.1.1 高精度衛星定位模式概述

由於美國全球衛星定位系統(GPS)技術已經發展成熟，加上近二年來許多衛星定位製造商已將蘇聯全球導航衛星系統(GLONASS)納入衛星定位標準規格，稱為 2G 衛星定位機種。因此任何時段天空中幾乎都有 7~8 顆以上定位衛星可供使用，在任何時間的衛星幾何品質參數(DOP)已經大幅提昇，加上各種無線傳輸方式的演進，增加了各種提升定位精度的可能性。

本研究案選擇約可達 10 公分的定位模式，以供比對，除了採用衛星即時動態定位(RTK)與後期處理(Post-Processing)模式，並且將增加 FUGRO 衛星傳輸的 DGPS 及 RTK 差分式模式，藉以比對不同定位模式的定位精度，同時比較作業方法及費用的差異。

#### 2.1.2 衛星定位模式實驗結果比對

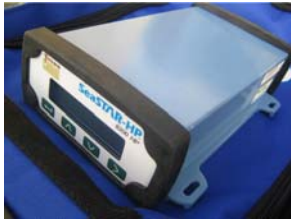




由本研究團隊過去十幾年探討多音束測深的量測經驗顯示，定位品質的優劣足以左右測深率定(calibration)的結果，進而決定多音束測深的資料品質，本研究所採用定位及測深相關儀器之規格如表 2.1。



多音束測深作業時，海測軟體同時接收 RTK 及衛星 DGPS(L-Band)，RTK 基站及移動站也同時以 1Hz 的頻率儲存衛星原始觀測資料，以執行後期資料處理定位成果的比對。

大部份海床都是平緩且少有特徵物，本案實驗區必需選擇有顯著特徵物的海床為原則，並且在特徵物上來回重複量測以比對不同定位模式的結果，此外將船隻逐漸遠離基站至無線電無法收訊或 RTK 基線距離超過 10~15 公里時，按原航線返回比對。

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	靜態精度 3mm+0.5ppm。 RTK 精度水平 10mm+1ppm，垂直 15mm+1ppm。 可接收 GPS, GLONASS 及 GALILEO 等三種衛星。	
GPS 衛星定位儀	TOPCON	Hyper Lite+	靜態，快速靜態：水平精度 3mm+0.5ppm 及垂直精度 5mm+0.5ppm。 RTK 精度：水平精度 10mm+1ppm 及垂直精度 15mm+1ppm。 可接收 GPS 及 GLONASS 等二種衛星。	
GPS 衛星定位儀	TOPCON	GB1000	靜態，快速靜態：水平精度 3mm+0.5ppm 及垂直精度 5mm+0.5ppm。 RTK 精度：水平精度 10mm+1ppm 及垂直精度 15mm+1ppm。 可接收 GPS 及 GLONASS 等二種衛星。	

名稱	廠牌	型式	精度	照片
GPS 衛星定位儀	FUGRO	SeaSTAR	SeaSTAR XP 服務精度：水平 15 公分，垂直 30 公分。 SeaSTAR HP 服務精度：水平 10 公分，垂直 20 公分。 RTK 精度：水平精度 10mm+1ppm 及垂直精度 20mm+1ppm。	
自動潮位儀	Sea-Bird	SBE39	溫度精確度為 $\pm 0.002^{\circ}\text{C}$ 。 解析度則為 $0.0001^{\circ}\text{C}$ 。 壓力範圍在水深 20 公尺以內。 精度 2 公分。 解析度 0.04 公分。	
多音束測深儀	Reson	8125	頻率為 455KHz。 音束數目：240 Beams。 音束束寬：0.5 度。 測深角度：120 度	
表面聲速儀	Applied MicroSystems	SVPlus	導電度解析度：一般海水 0.00005, 高濃度 0.00007, 淡水 0.00001。 溫度解析度： $0.0001^{\circ}\text{C}$ 壓力解析度：0.002%量測範圍。	
鹽溫深儀	Seabird	SBE19	導電度解析度：一般海水 0.00005, 高濃度 0.00007, 淡水 0.00001。 溫度解析度：0.0001。 壓力解析度：0.002%量測範圍。	

名稱	廠牌	型式	精度	照片
動態運動姿態感測儀	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 5%。</p> <p>動態量測精度約為<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>	
動態運動姿態感測儀	TSS	DMS-05 (Dynamic Motion Sensor)	<p>Roll&amp;Pitch 為<math>\pm 0.05^\circ</math>，Heave 為<math>\pm 5</math> 公分或 5%。</p>	



## 2.2 多音束測深系統之精度探討

### 2.2.1 總傳播不確性(TPU)的概念

國際海測規範(IHO SP44) 第四版合併所有精度與誤差傳播的分析結果稱為總傳播誤差(Total Propagated Error, TPE)，第五版將所有誤差歸算為總傳播不確性(Total Propagated Uncertainty, TPU)，並將 TPU 區分為平面不確定性(Total Horizontal Uncertainty, THU)與垂直不確定性(Total Vertical Uncertainty, TVU)。按規範測深作業前應先檢驗每項儀器獨立的精度與誤差，確認整個測深使用的儀器精度經過誤差傳播仍足以達到量測規範的精度要求，理論上多音束測深預期精度未達標準，則必須針對不足原因更換精度較高之儀器。現實中每個音束每次量測的傾角(roll, pitch etc.)都不相同，必須歸算所有量測結果才會得到正確的 TPU，因此實務上的作法是量測並歸算後，再刪除未達總誤差傳播標準的測深資料。

儀器的精度可由製造商提供，以 CARIS HIPS 多音束資料處理軟體為例，提供之計算 TPU 的欄位分為二大項，相對位置或及角度(Offset)及標準差(StdDev)。

#### 1. 相對位置或及角度(Offset)。

	MRU to Trans X (m)	MRU to Trans Y (m)	MRU to Trans Z (m)	Nav to Trans X (m)	Nav to Trans Y (m)	Nav to Trans Z (m)	Trans Roll (deg)
1	-0.005	0.111	-0.746	0.860	-10.920	-5.536	0.000

- (1) MRU to Transducer(x,y,z)：船隻姿態儀至音鼓三個軸向的相對位置。
- (2) Navigation To Transducer(x,y,z)：定位儀至音鼓三個軸向的相對位置。
- (3) Transducer Roll：同時使用二個音鼓或斜打作業時，安裝音鼓的傾角，右舷向下為正。

#### 2. 標準差(StdDev)。

	Motion Gyro (deg)	Heave % Amp	Heave (m)	Roll (deg)	Pitch (deg)	Position Nav (m)
1	0.050	5.000	0.050	0.010	0.010	0.050

- (1) Motion Gyro：量測航向的標準差。
- (2) Heave % Amplitude：湧浪瞬間變化的標準差。
- (3) Heave：量測湧浪的標準差。
- (4) Roll：量測左右搖擺角的標準差。
- (5) Pitch：量測前後傾斜的標準差。
- (6) Position Nav：定位的標準差。

	Timing Trans (s)	Nav Timing (s)	Gyro Timing (s)	Heave Timing (s)	Pitch Timing (s)	Roll Timing (s)
1	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100

- (7) Timing Trans：音鼓拍發時間的標準差。
- (8) Nav Timing：定位時間的標準差。
- (9) Gyro Timing：量測船艏向時間的標準差。
- (10) Heave Timing：量測湧浪時間的標準差。
- (11) Pitch Timing：量測前後傾斜時間的標準差。
- (12) Roll Timing：量測左右搖擺角時間的標準差。

Offset X (m)	Offset Y (m)	Offset Z (m)	Vessel Speed (m/s)	Loading (m)	Draft (m)	Delta Draft (m)
0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000

- (13) Offset X：量測儀器安置相對位置在 x 軸向的標準差。
- (14) Offset Y：量測儀器安置相對位置在 y 軸向的標準差。
- (15) Offset Z：量測儀器安置相對位置在 z 軸向的標準差。
- (16) Vessel Speed：量測航速的標準差。
- (17) Loading：船隻油水載重變化。
- (18) Draft：量測船隻吃水的標準差。
- (19) Delta Draft：量測船隻動態吃水的標準差。

MRU Align StdDev gyro	MRU Align StdDev Roll/Pitch
0.000	0.000

- (20) MRU Align StdDev Gyro：電羅經非置於船隻運動中心量測船

艏向的標準差。

(21) MRU Align StdDev Roll/Pitch：船隻姿態儀非置於船隻運動中心量測左右搖擺角的標準差。

### 2.2.2 定位及測深精度之配合

量測系統精度來自測深、定位及潮位儀器等精度的限制及人為誤差，人為誤差(例如：音鼓吃水的判讀及代表性取樣的選擇)則較難量化估算，回歸到測深系統最終獲得二項主要資訊：水平位置( $X1, Y1$ )及水深( $Z$ )，量測水平位置的儀器大多由全球導航衛星系統(GNSS, Global Navigation Satellite System, GPS + GALILEO + GLONASS)為主。單音束測深系統為固定音束束寬(*beam width*)，多音束測深系統目前則有等角度(*equal angle*)及等距離(*equal distance*)的量測方式，測深儀的成果是水深( $Z$ )，但在水平空間( $X2, Y2$ )仍有足印(*footprint*)大小的不確性(*uncertainty*)，因此 GNSS 量測的水平定位精度( $X1, Y1$ )與測深足印( $X2, Y2$ )必需同時配合，才能對整個量測成果有顯著的改變。

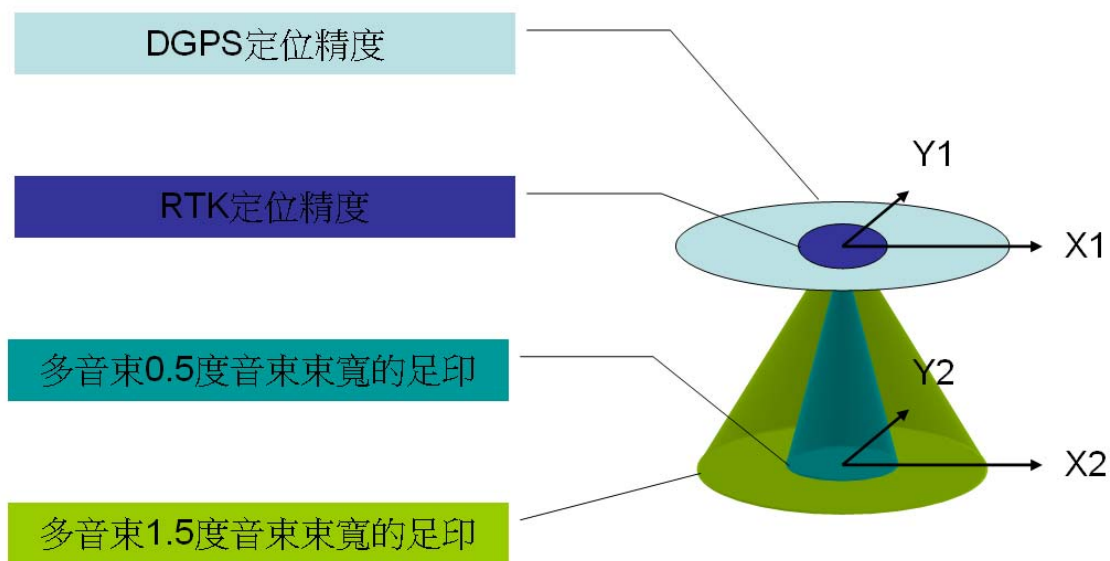


圖 2.1 定位精度和足印示意圖

定位精度與足印尺寸為系統的測深系統先天條件，後續的率定(Patch Test)值也因 TPU 的縮減，而逐漸突顯其好壞差異。以下針對定位精度、足印尺寸與率定說明其互相影響關聯。

## 2.3 衛星定位模式精度

### 2.3.1 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)，扣除汰舊換新的衛星，太空中應隨時保持有 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。只需接收到其中 4 顆以上衛星，就能迅速確定用戶端在地球上所處的水平及高程位置；通常衛星定位儀所能接收到的衛星數量越多，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 系統也是由衛星、衛星追蹤站和衛星接收儀三部分組成，該系統規劃包含 21 顆衛星和 3 顆備用衛星，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，由俄國應用力學科學院生產聯合公司研製新一代的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，未來應可提供比美國 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，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。以上三種定位系統合稱全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)。

### 2.3.2 衛星定位模式(GPS Mode)

GPS 單機定位(Stand Alone)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存在著較差(difference)，需有一修正量，即另有一個未知數。因此需要至少四個虛擬距離(pseudo-range)觀測量才能解得這四個未知數，即最少需要同時觀測四顆衛星，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 公尺或公寸級。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  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ 。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，此即為即時動態定位測量(Real Time Kinematic positioning, RTK)。NMEA2.1 版定義定位模式(GPS Mode)為三種等級(1,2,3)，NMEA3.0 版將 RTK 區分為 RTK Float 和 RTK Fixed 二個等級，其代碼可參照表 2.2，並且預留代碼以供未來更為精準的定位方法使用。

表 2.2 NMEA 定位模式代碼表

GPS Mode	NMEA 2.1	NMEA 3.0	備註
Invalid	0	0	無法定位
Stand Alone	1	1	單機定位
Differential	2	2	差分定位
RTK Float	3	5	即時動態差分定位
RTK Fixed	3	4	即時動態差分定位

### 2.3.3 常見的衛星定位服務比較

除了使用的衛星定位方法有差異外，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。表 2.3 列出可供選擇使用的衛星定位之 DGPS 及 RTK 模式及精度，表 2.4 比較這些服務的優缺點。

表 2.3 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	3 公尺以內
SBAS(WAAS/E GNOS/MSAS 等)	免費	X	3 公尺以內
FUGRO 衛星傳 輸差分服務	約 300USD/天	約 300USD/天	定位精度約可達 10 公分
自行架站，使用 RADIO 傳送差 分訊號	免費	免費	DGPS；3 公尺 RTK：定位精度 約可達 10 公分
自行架站，使用	依照 GSM 服務	依照 GSM 服務	DGPS；3 公尺

GSM 傳送差分訊號	收費標準	收費標準	RTK：定位精度約可達 10 公分
使用國土測繪中心 eGPS 服務	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；3 公尺 RTK：定位精度約可達 10 公分

表 2.4 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(WAAS/EGNOS/MSAS 等)	免費	MTSAT 尚在測試中，以日本附近海域較為精準	MSAS 是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	商業服務使用方便，衛星覆蓋服務區廣泛，定位精度約可達到接近 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。	

	優點	缺點	備註
自行架站，使用 GSM 傳送差分訊號	GSM 近岸訊號分佈廣泛，比無線電較不受干擾，節省自行架站成本。	GSM 傳輸費用昂貴，離岸較遠時，GSM 仍然無法傳至作業區。	以 GSM 取代無線電傳輸。
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。	GSM 傳輸費用昂貴，離岸較遠時，仍然無法傳至作業區。此外，移動站 GSM(手機)的功率不及無線電基地台，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。

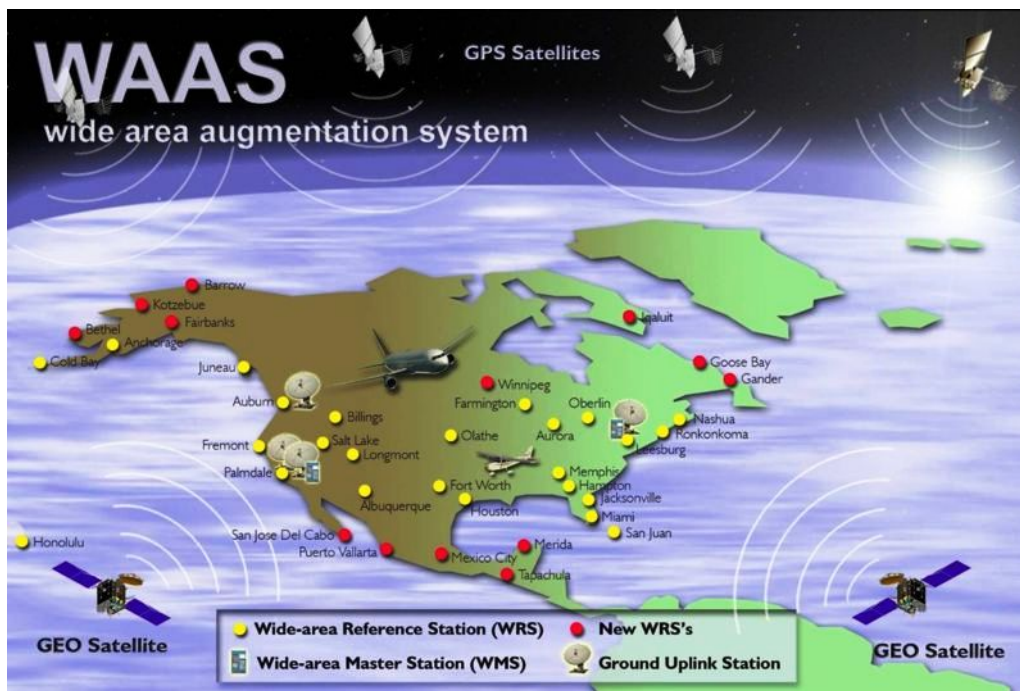
總結來說，按照海測目的採用 DGPS 或 RTK 的定位等級，並且依照作業區域的狀況，需要選擇合適的定位方法。此外人員及費用成本也是另一項考量的重要因子，另一種可選擇的作業方法為後期處理 (Post-Processing, PP) 模式。後期處理指完成測量作業後，重新解算基站及移動站所觀測接收得到的衛星原始資料，由於其資料於事後才解算，在現場並無法得知是否可以解算得到適用的定位資料，其風險較高，通常海測作業不會僅以 PP 作為唯一定位模式。

#### 2.3.4 其它衛星定位服務

1. 廣域增強系統 (Wide Area Augmentation System, 簡稱 WAAS) 是由美國聯邦航空局開發建立的用於空中導航的一個系統，該系統主要是通過解決廣域差分 GPS 的數據通信問題，從而提高全球定位系統的精度和可用性。廣域增強系統利用遍布北美和夏威夷的地面參考站 (Wide-area Reference Station, 簡稱 WRS) 採集 GPS 信號並傳送給主控站 (Wide-area Master Station, 簡稱 WMS)。主控站經過計算



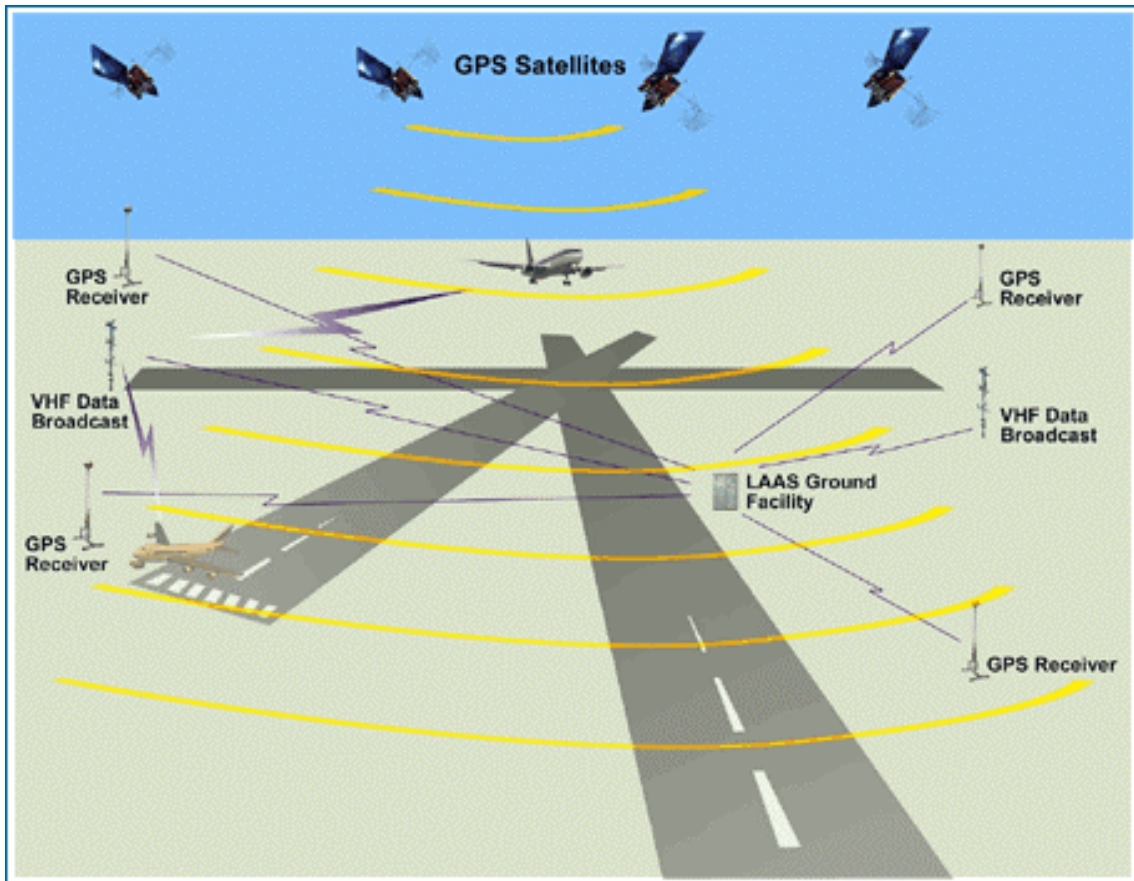
得出差分改正（Deviation Correction，簡稱 DC）並將改正信息經地球站傳送給 WAAS 地球同步衛星。最後由地球同步衛星將信息傳送給地球上的用戶，這樣用戶就能夠通過得到的改正信息，精確計算自己的位置。該系統於二十世紀九十年代開始研製開發，到 2003 年 7 月 10 日時，WAAS 信號已經能夠覆蓋 95% 的美國領土。其動態定位水平精度可達到 3-5 米，垂直精度可達 3-7 米。而且用戶不需要增加任何導航設備。



摘自維基百科[http://zh.wikipedia.org/zh-tw/File:FAA\\_WAAS\\_System\\_Overview.jpg](http://zh.wikipedia.org/zh-tw/File:FAA_WAAS_System_Overview.jpg)

圖 2.2 廣域增強系統示意圖

2. 區域增強系統（Local Area Augmentation System，簡稱 LAAS）是一種能夠在局部區域內提供高精度 GPS 定位的一種定位增強系統。其原理與廣域增強系統(WAAS)類似，只是用地面的基站代替了 WAAS 中的地球同步衛星，通過這些基站向用戶發送測距信號和差分改正信息。因此這些基站被稱為地基偽衛星(land-based pseudo satellite)。LAAS 系統能夠在局部地區提供比 WAAS 精度更高的定位信號，因此常被用於機場導航，可以使飛機僅僅利用 GPS 就可以安全著陸。



摘自維基百科[http://zh.wikipedia.org/zh-tw/File:LAAS\\_Architecture.png](http://zh.wikipedia.org/zh-tw/File:LAAS_Architecture.png)

圖 2.3 廣域增強系統示意圖

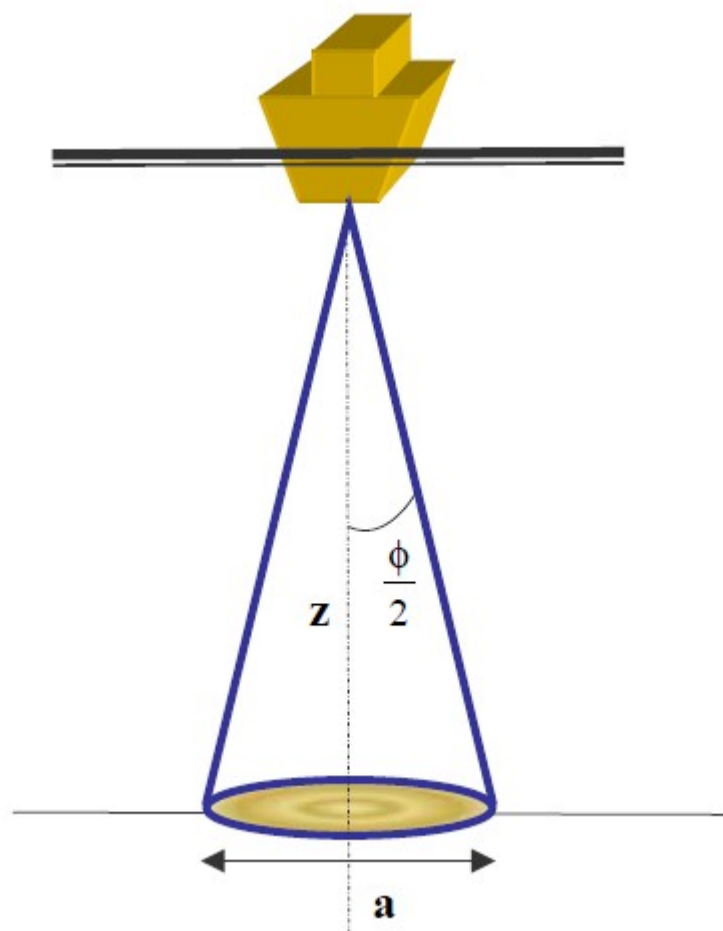
3. 輔助全球衛星定位系統（Assisted Global Positioning System，簡稱：AGPS）是一種在一定輔助配合下進行 GPS 定位的運行方式。它可以利用手機基站的信號，配合傳統 GPS 衛星信號，讓定位的速度更快。一般 GPS 使用太空中的 24 顆人造衛星來進行三角定位，以獲得經緯度坐標，通常需要一個可視天空的開放環境和至少 3 顆 GPS 衛星信號才能進行 3D 定位。AGPS 則利用手機基站的信號，輔以連接遠程伺服器的方式下載衛星星曆（Almanac Data），再配合傳統的 GPS 衛星接收器，讓定位的速度更快。普通的 GPS 系統是由 GPS 衛星和 GPS 接收器組成，而 AGPS 在系統中還有一個輔助伺服器。在 AGPS 網路中，接收器可通過與輔助伺服器的通信而獲得定位輔助。由於 AGPS 接收器與輔助伺服器間的任務是互為分工的，所以 AGPS 往往比普通的 GPS 系統有速度更快的定位能力、有更高的效率。在

蜂窩移動通信系統中，AGPS 系統通過手機定位伺服器作為輔助伺服器來協助 GPS 接收器（通常是手機）完成測距和定位服務，輔助定位伺服器有比 GPS 接收器強大得多的 GPS 信號接收環境和能力，在這種情況下，輔助定位伺服器通過網路與手機的 GPS 接收器通信而可以提供定位協助。由於有了移動網路的協助，GPS 接收器的效率比沒有協助定位伺服器的時候提高許多，因為有部分原本由接收器處理的工作被輔助定位伺服器所處理，例如 GPS 接收器冷開機到暖開機時候的定位工作，就是由協助定位伺服器 AGPS 所處理。在通常情況下，一個標準的 GPS 接收器需要至少 3 顆 GPS 衛星才能進行 3D 定位。另外，還需要有足夠的處理能力來把衛星的觀測數據計算轉換成三度空間坐標，但若使用 AGPS 定位方式時，定位的計算任務可以由輔助定位伺服器來完成。

## 2.4 多音束聲納的足印(Footprint)尺寸

### 2.4.1 音束足印尺寸的意義

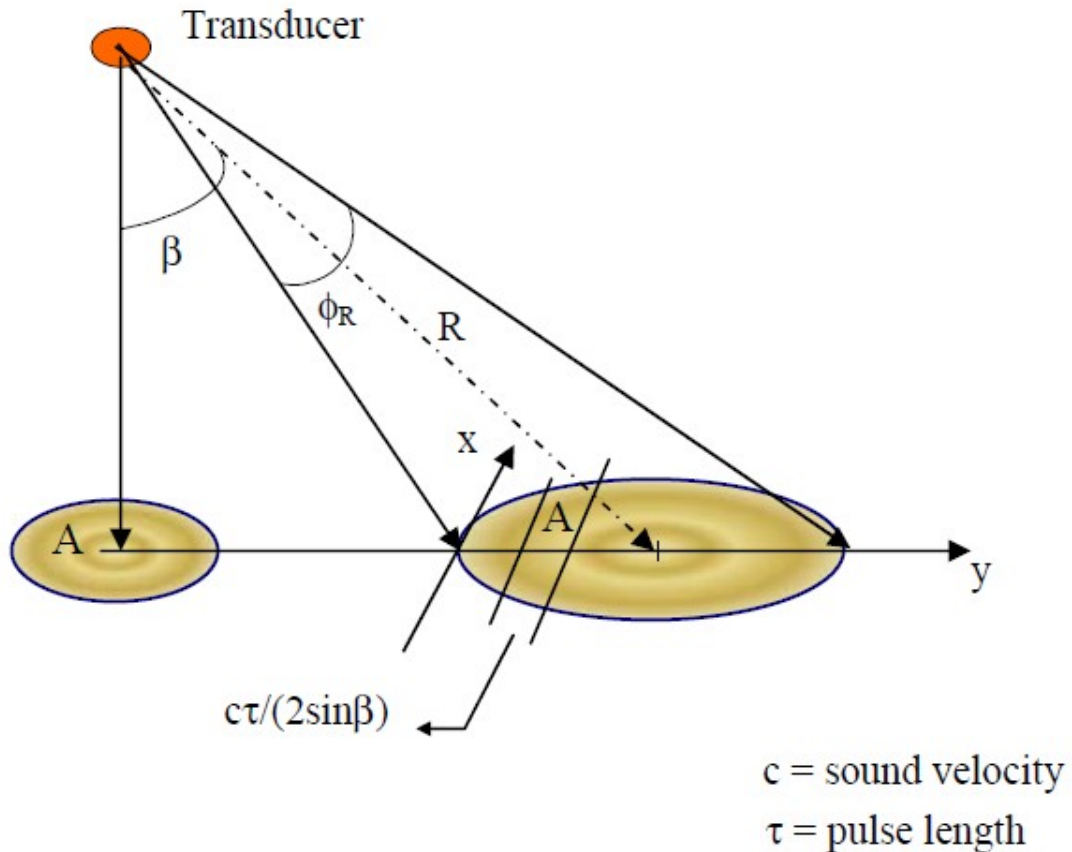
聲納足印尺寸與陸上量測的解析度的概念類似，許多陸上量測的解析度是以「距離」為基準，但足印尺寸則是以「角度」為基準，而單音束聲納的足印尺寸與水深成正比，且與音束束寬成正相關，可參照圖 2.4。單音束足印尺寸的計算公式為  $a = 2 \cdot z \cdot \tan\left(\frac{\phi}{2}\right)$ ，其中  $a$ ：單音束足印尺寸， $\phi$ ：音束束寬(beam width)， $z$ ：水深。



摘自 IHO, C-13

圖 2.4 單音束足印尺寸

多音束足印尺寸的計算公式較為複雜，可參照圖 2.5，計算足印尺寸  $A$  必須積分圖中橫斷面  $c\tau/(2\sin\beta)$ ，其中  $R$ ：量測之斜距， $\phi_R$ ：音束寬， $\beta$ ：音束角 (beam angle)， $c$ ：聲速， $\tau$ ：聲波波長。斜距由時間  $T$  決定，積分橫斷面的數量則由取樣間隔  $\tau_s$  決定。



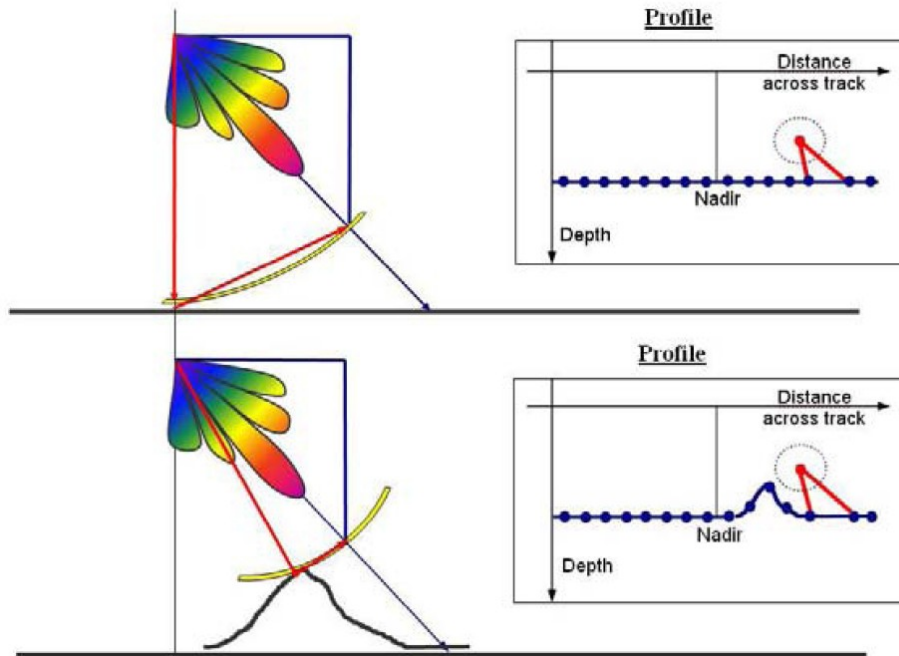
摘自 IHO, C-13

圖 2.5 多音束足印尺寸

常見的單音束聲納的音束束寬介於 3 度~15 度之間，漁探機音束束寬經常大於 30 度以上，常見的多音束聲納的音束束寬則介於 0.5 度~3 度之間。無論漁探機、單音束聲納或多音束聲納，聲波的波形都以主波 (main lobe) 及副波 (side lobe) 的形式傳送聲音，可參照圖 2.6 上，而聲學量測距離，是以第一道反射波作為量測基準，常態的情形是主波反射第一道回波，可參照圖 2.6 上，但量測崎嶇多變的海床時，第一道回波可能是由副波反射，可參照圖 2.6 下，因主波及副波的量測角度的誤

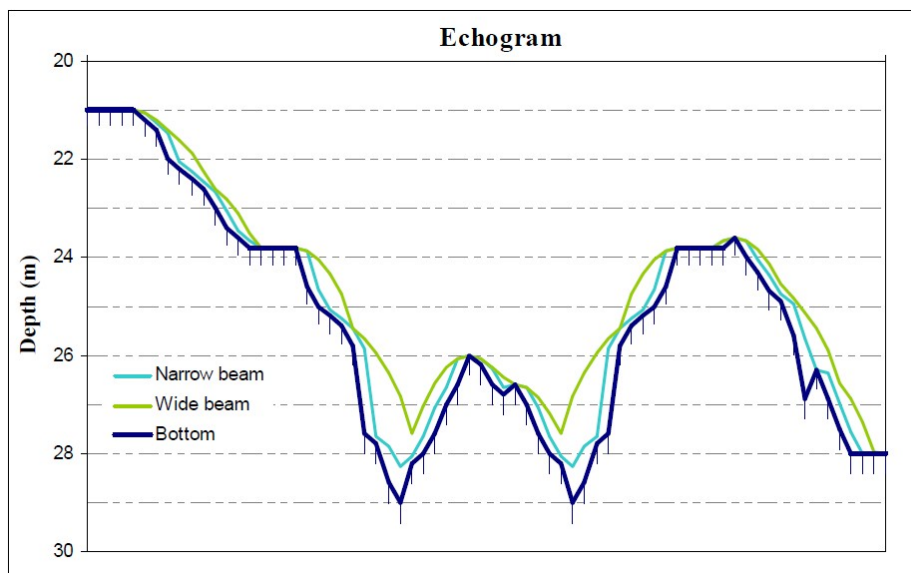


差可能會造成水平位置偏移及垂直高程變淺，因此音束束寬較寬的聲納量測成果可能會較淺，可參照圖 2.7，亦即利用此概念說明在崎嶇的海床上，若採用聲納之音束束寬越窄，量測結果應該越接近真實海床。



摘自 IHO, C-13

圖 2.6 聲納主波與副波的量測誤差



摘自 IHO, C-13

圖 2.7 寬音束束寬及窄音束束寬量測誤差示意圖

## 2.4.2 足印尺寸與定位精度的關係

多音束測深系統的最初設計是以全覆蓋(full coverage)沒有縫隙為主要量測目標，實驗初期安裝於大型商船，量測水域也以超過 40 米水域為主，這類系統音束足印較大，大多超過 DGPS 的常用精度 2 公尺。音束足印尺寸與音束束寬、音束角(beam angle)及水深(depth)互為相關，若以音束束寬 1.5 度，音束角 0~60 度，水深 0~60 公尺為例，繪製之等足印圖可參照圖 2.8，由圖中可見當水深約超過 20 公尺後，足印超過 2 公尺的角度越來越多，因此 DGPS 之定位精度 2m 已經足夠。

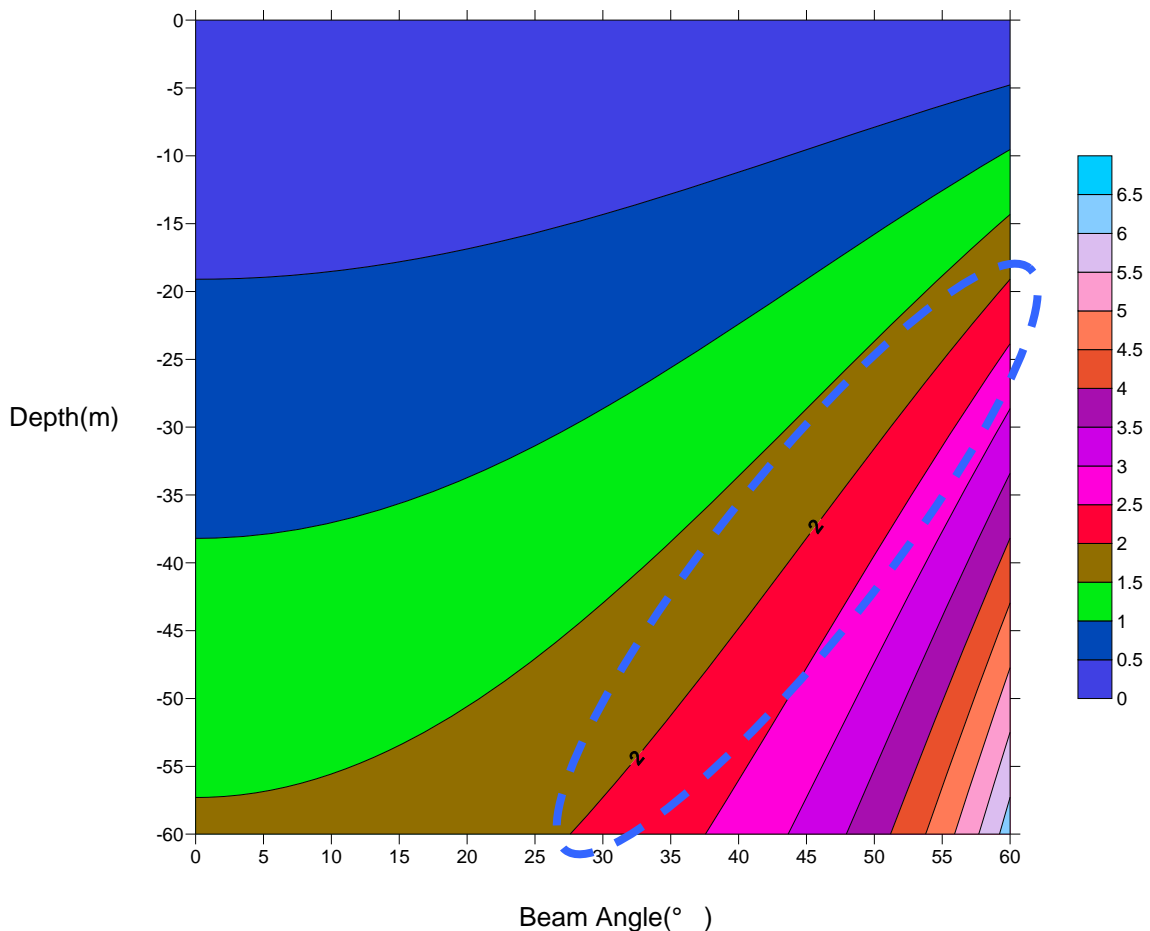


圖 2.8 音束束寬 1.5 度等足印圖(音束角 60 度以內)

但相對而言，對於淺水多音束測深系統，足印可以縮減至幾十分，對於特徵物檢測，例如：海底管線、消波塊、碼頭胸牆及幾近垂直的人工結構物，若定位精度能提升，減至足印尺寸左右，其效益是非常顯著，特別是點雲(cloud)資料的疊合與比對。若以音束束寬(beam

width)0.5 度，音束角(beam angle)0~60 度，水深 0~60 公尺為例，其等足印圖如圖 2.9。若採用即時動態定位(Real Time Kinematic, RTK)模式，則可將定位精度減至 10 公分以內，相對 DGPS 的定位精度，RTK 定位模式較符合淺水多音束測深所需的定位精度。

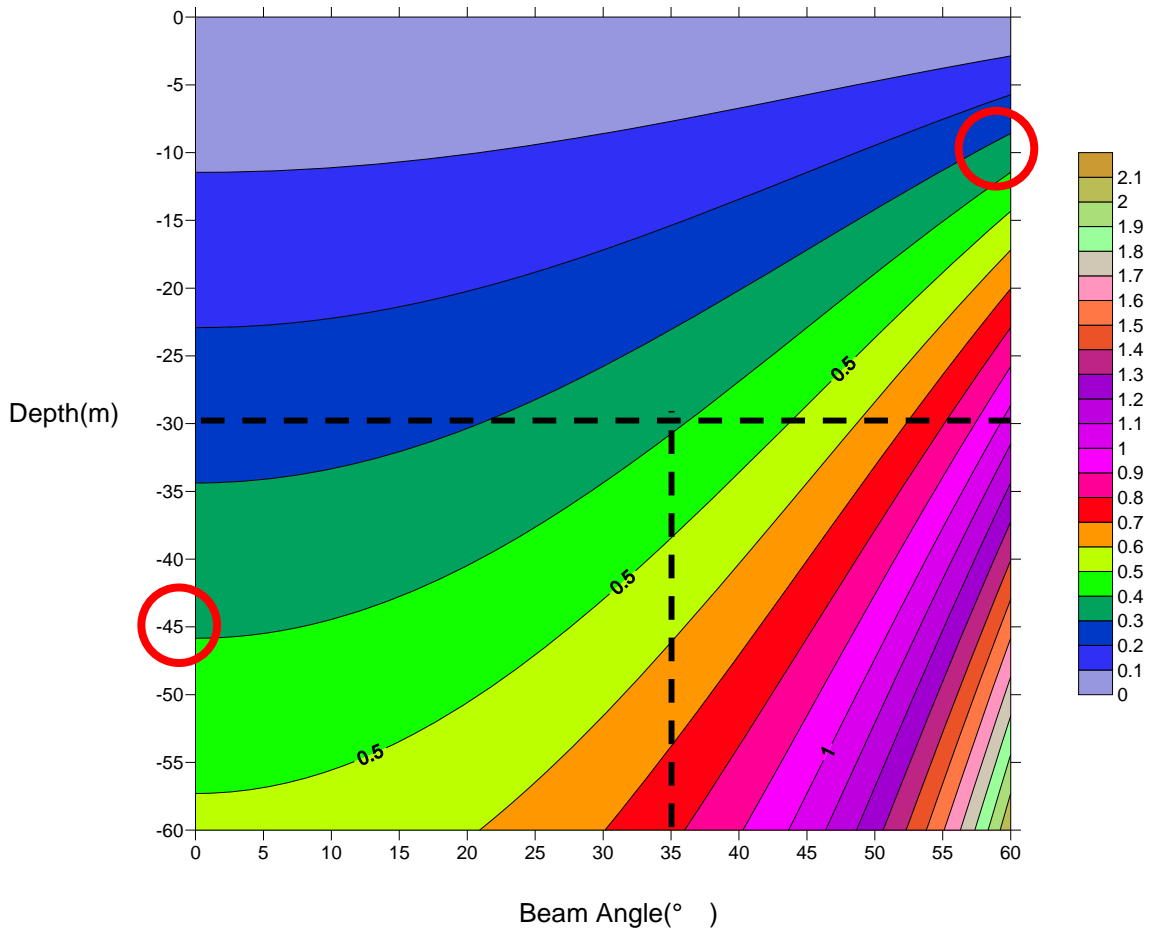


圖 2.9 音束束寬 0.5 度等足印圖(音束角 60 度以內)

### 2.4.3 足印尺寸與海床特徵物偵測的關係

使用多音束測深系統偵測海床特徵物至少需要 3~5 個測深點，才足以判視其特徵點與背景海床的差異，若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(beam width)、音束角(beam angle)及水深(depth)互為相關，可參照圖 2.9，本案採用的 Reson SeaBat 8125 音束束寬為 0.5 度，是目前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 0.087 公尺；在水深 20 公尺處為 0.175 公尺；在水深 40 公尺處為 0.349 公尺。因為 Reson SeaBat 8125 多音束聲納的音束張角(swath angle)為 120 度，音束角(beam angle,  $\alpha$ )為音鼓正下方至各音束中心之夾角，理想狀態 $\alpha$ 為正負 60 度之間，實際作業時，船隻運動 Roll 角會改變左右 $\alpha$ 值大小，若左弦 $\alpha$ 增加，則右弦 $\alpha$ 減少，反之若右弦 $\alpha$ 增加，則左弦 $\alpha$ 減少，當水深為 5 公尺至 100 公尺時，可參閱表 8，為 $\alpha=0$  度及 $\alpha=60$  度時不同水深的足印尺寸。

表 2.5 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

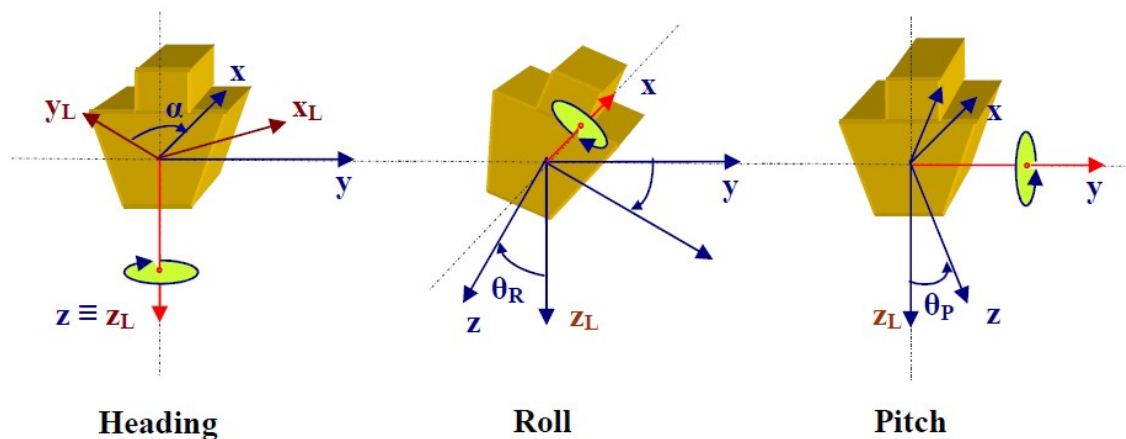
水深	$\alpha=0$ 度(正下方)	$\alpha=60$ 度
85	0.742	5.846
90	0.785	6.190
95	0.829	6.534
100	0.873	6.878

若欲探測 1.6 公尺左右大小的特徵物而言，建議足印尺寸至少要小於 0.4 公尺，足印尺寸的計算較為複雜，可繪製成等足印圖表以供查閱，圖 2.9 中假設水深 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( $\alpha$ )則可以遞增。由上述可知定位儀器之定位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。

## 2.5 多音束測深系統疊合測量(Patch Test)精度

### 2.5.1 疊合測量率定概述

在多音束測深系統中，部份參數修正值(offset)無法直接量測，例如：音鼓三軸與水平及垂直軸的三個角度：左右搖擺(Roll)、前後傾斜(Pitch)和船艙旋轉(Yaw)等，可參照圖 2.10，另外定位與測深的時間不同步產生的時間遲滯(Positioning time delay)也同樣不易直接量測。率定的概念是以不同的量測條件，由資料疊合的統計差異反算修正參數，包括一個時間參數時間遲滯(Positioning time delay)及三個角度參數(Pitch, Roll, Yaw)。



摘自 IHO, C-13

圖 2.10 音鼓安置角度示意圖

在水深超過 100 公尺的水域，定位精度約 2 公尺，足印 2 公尺以上的條件下，率定的精度大約只到 1 度。但在淺水域，以水深 30 公尺的特徵物為例，在航向上偏移 1 公尺，Pitch 的修正量會達到 1.9 度，另外 ZDA 及 PPS 的時間率定也極為重要，如果只採用電腦時間作為測深時間基準，Positioning time delay 甚至可能會介於 $\pm 0.8\text{sec}$ 之間，若以航行船速 6 節推算，Positioning time delay 偏差量可能產生 $\pm 2.4$ 公尺的定位誤差，反之，由於定位誤差造成的定位偏移量也會對於率定值造成嚴重的影響。定位精度的提升與 TPU 的縮減，會間接影響到率定的解析度，深水區可能 1 度已經足夠，但在淺水區測量時則率定的解析度需要要求達 0.1 度。

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上述四個參數，使疊合測量(Patch Test)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。不論疊合測量的率定參數如何降低其他誤差源所引起的誤差傳播，最終將會反應在交錯檢核(Cross Check)的精度檢核。

定位精度與足印尺寸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、GNSS 衛星狀態及海象天候等實測時無法抗拒的

因素，都會增加疊合測量作業的困難度，率定參數可說是吸收各種誤差源，將誤差最小化的一組參數。

### 2.5.2 率定原理及方法

率定原理最早由 Godin(1996)提出，各種海測軟體針對其原理提出的實驗方法大同小異，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，由於其特性為疊合同一測區比對之，又稱為「疊合分析」。四種參數有其各自的量測條件，可參照圖 2.11，國際海測組織海測手冊第三章(IHO, C-13, Chapt 3)以 Godin 的理論說明率定原理。

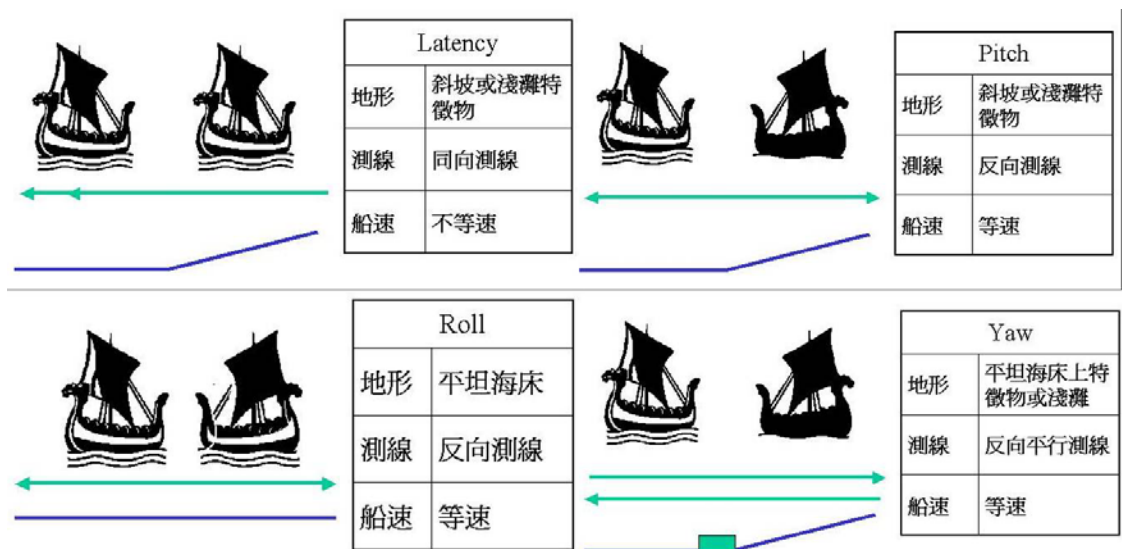


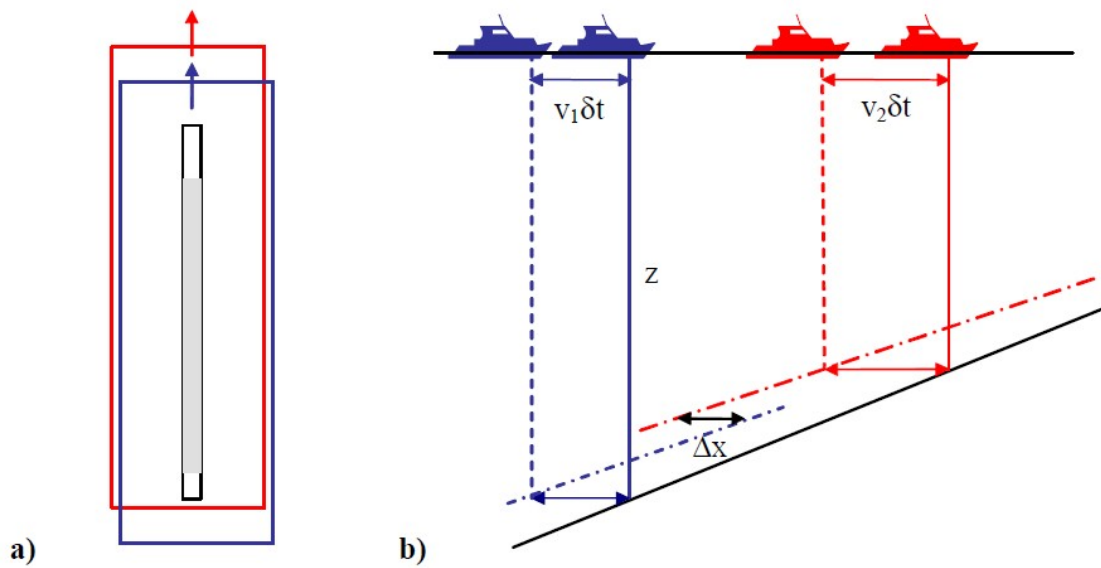
圖 2.11 疊合測量(Patch Test)條件

1. 時間遲滯(Positioning time delay)：定位與測深時間不同造成的誤差。

(1) 原理公式及圖示說明如下：

$$\delta_t = \frac{\Delta x}{v_2 - v_1},$$

$\delta_t$ ：時間差， $\Delta x$ ：誤差長度， $v_1$ ：速度 1， $v_2$ ：速度 2。



摘自 IHO, C-13

圖 2.12 時間遲滯(Positioning time delay)

- (2) 率定作業方法：二條測線之作業條件為同一測線且航向相同，但航速不同，航速為二倍以上為最佳。地形條件為斜坡或特徵物，測線方向必需垂直斜坡效果才會明顯。取平行航線之剖面疊合比較分析可得 Positioning time delay 參數，其中又以音鼓正下方之剖面受到其它參數影響最小。

其它三組參數為音鼓安置角度，音鼓安置時與船隻軸向 XYZ 三軸的角度，可參照圖 2.10，其原因可能是音鼓安裝架偏差角、動態傾角或船隻載重重心變化，通常以船隻載重重心變化影響最為顯著。

## 2. 左右搖擺(Roll)：

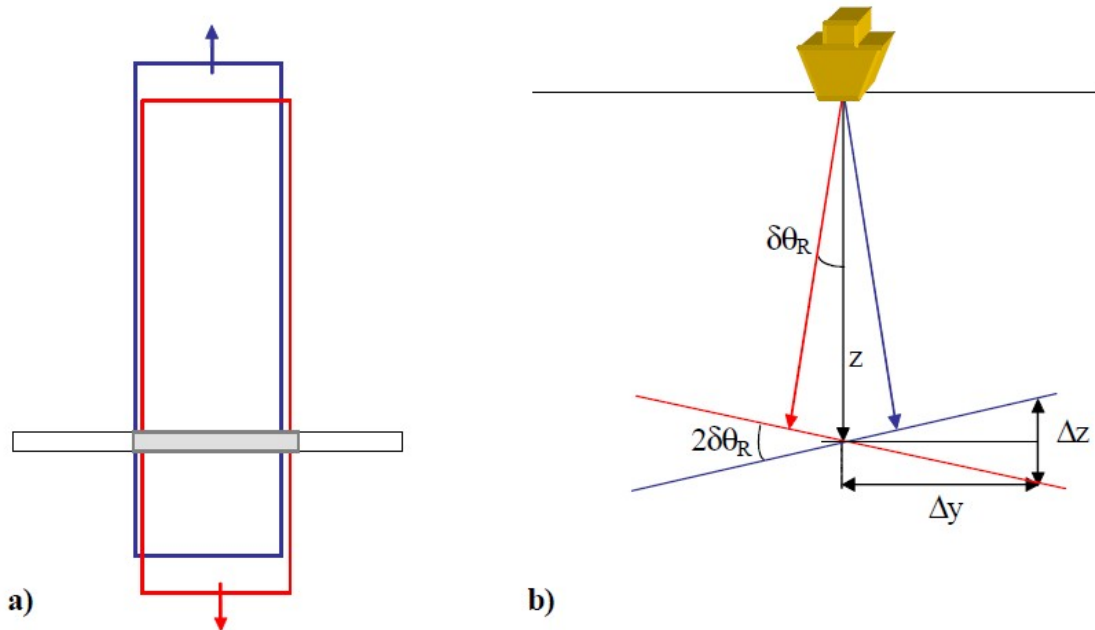
- (1) 原理公式及圖示說明如下：

$$\delta\theta_R = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta Z}{2 \cdot \Delta Y}\right)$$

$\delta\theta_R$ ：左右偏差角， $\Delta Z$ ：高程誤差， $\Delta Y$ ：水平距離。

- (2) 率定作業方法：二條測線之作業條件為同一測線，航速相同，但航向相反，地形條件為平坦海床。取垂直航線之剖面疊合比

較分析可得 Roll 參數，只要選擇平坦海床，Roll 幾乎不受其它參數影響。



摘自 IHO, C-13

圖 2.13 左右搖擺(Roll)

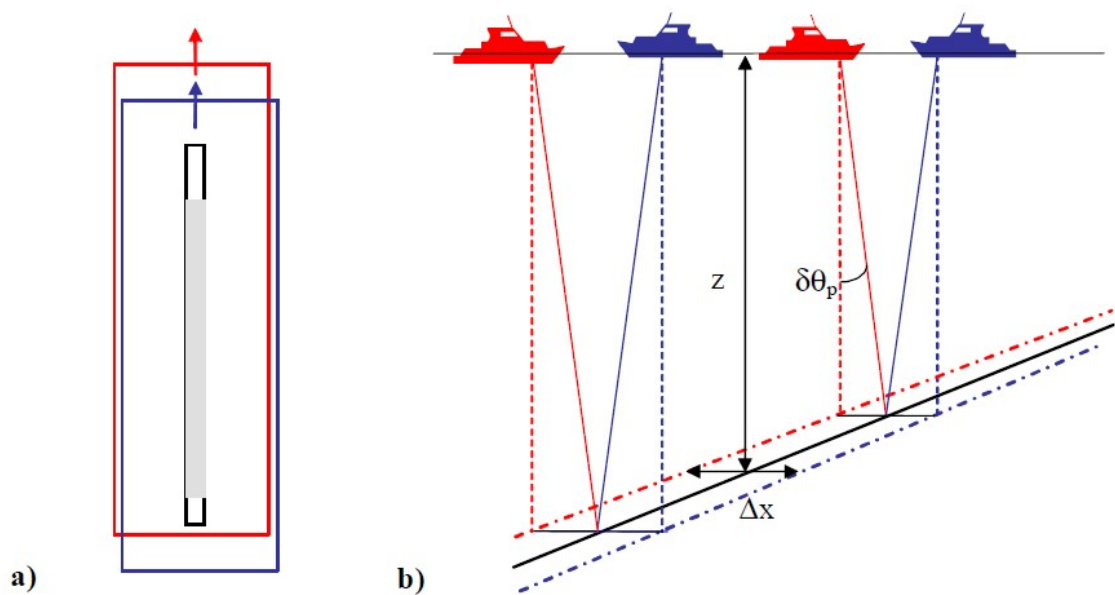
### 3. 前後傾斜(Pitch)：

(1) 原理公式及圖示說明如下：

$$\delta\theta_p = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{2 \cdot z}\right),$$

$\delta\theta_p$ ：前後傾斜角， $\Delta x$ ：斜坡水平位移， $z$ ：正確水深。

(2) 率定作業方法：測線作業條件與 Roll 相同。地形條件則為斜坡或有特徵物的海床。取平行航線之剖面疊合比較分析可得 Pitch 參數，其中又以音鼓正下方之剖面受到其它參數影響最小。



摘自 IHO, C-13

圖 2.14 前後傾斜(Pitch)

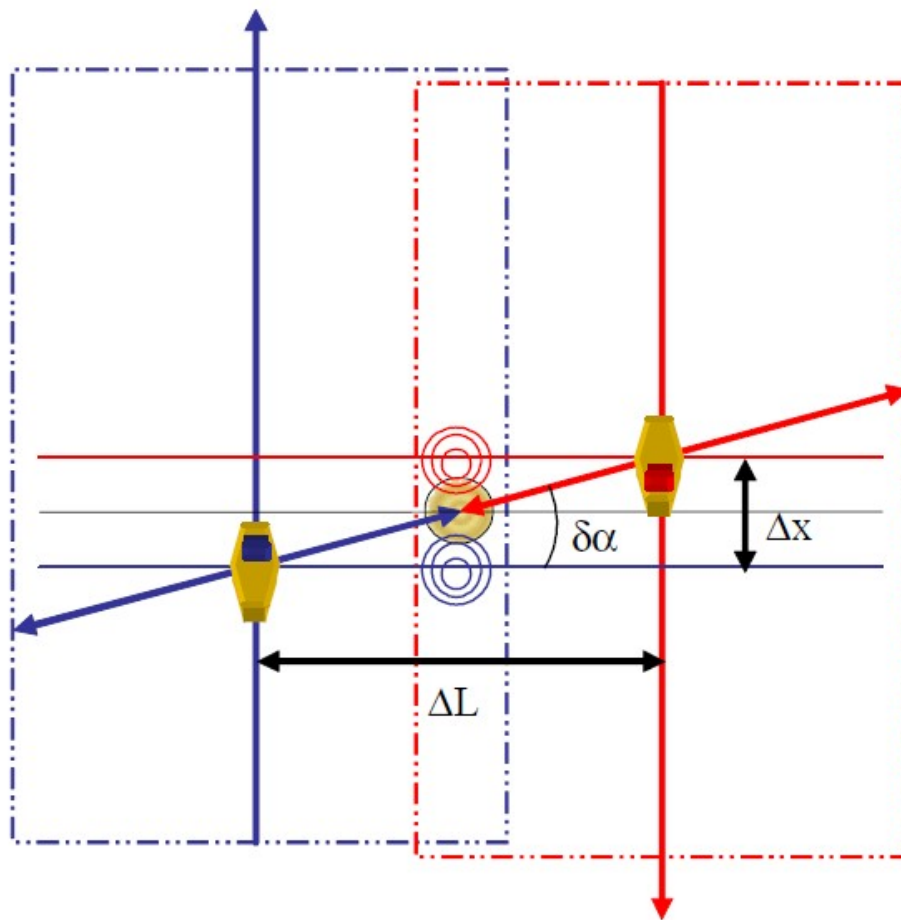
#### 4. 船艙旋轉(Yaw)：

(1) 原理公式及圖示說明如下：

$$\delta\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta L}\right)$$

$\delta\alpha$ ：船艙偏差角， $\Delta x$ ：目標物水平位移， $\Delta L$ ：測線間距。

(2) 率定作業方法：測線之作業條件為二條平行測線，航速相同，圖 2.15 中航向相反，但不同軟體對於航向的建議並不相同，因為航向相反時，造成的偏差量較大，較容易解算，而航向相同時，因 Pitch 誤差造成的偏差量相同，解算 Yaw 值的獨立性較佳。地形條件為海床上的特徵物，附屬的條件是測線間距約為一半測帶寬，特徵物座落在二條測線中間。取特徵物上平行航線之剖面疊合比較分析可得 Yaw 參數，Yaw 效應的誤差通常不明顯，通常大於 6 度時，誤差效應才會顯著。



摘自 IHO, C-13

圖 2.15 船艏旋轉(Yaw)

由於四個參數彼此相互影響，以疊代法(Iteration)歸算疊合總誤差最小的結果，各種海測軟體解算四個參數的順序並不相同，代入過去的參數值可縮減疊代演算的時間。

各種海測軟體解算參數的方法分為手動及自動，其差異在於選擇比較的剖面位置及自行調整參數值，自動的缺點是過多的雜訊可能干擾剖面的選擇與參數的計算，其優點是當疊合差異不明顯，仍可由統計值解算出正確的參數；手動的缺點則是取樣剖面的數量較少，優點是人工可判視已知的錯誤(例如：雜訊過多會影響統計結果)不受影響。



### 2.5.3 疊合測量實驗

大部份海床都平坦缺少特徵物，為確保率定作業有良好的品質，本研究團隊設計疊合測量實驗場作為後續多音束測深系統相關研究的基本校驗場，實驗區位於國立中山大學外海的西子灣海洋實驗場，水深約 12~15 公尺之間的平坦海床，考量海床特徵物不易尋得，以標準貨櫃作為目標物，可參照下圖。



圖 2.16 疊合測量(Patch Test)目標物-標準貨櫃

除了特徵物以外，海床上的斜坡不易尋得，因此另外改裝二個貨櫃為傾斜面模擬海床斜坡，可參照圖 19。貨櫃尺寸可參照圖 2.18，佈放時間為 2007 年 11 月，總共佈放一個標準貨櫃及二個傾斜貨櫃，其中標準貨櫃已損壞解體，傾斜貨櫃部份掩埋，但裸露在海床上的部份仍然是海床上良好的實驗場。



圖 2.17 疊合測量(Patch Test)目標物-傾斜貨櫃

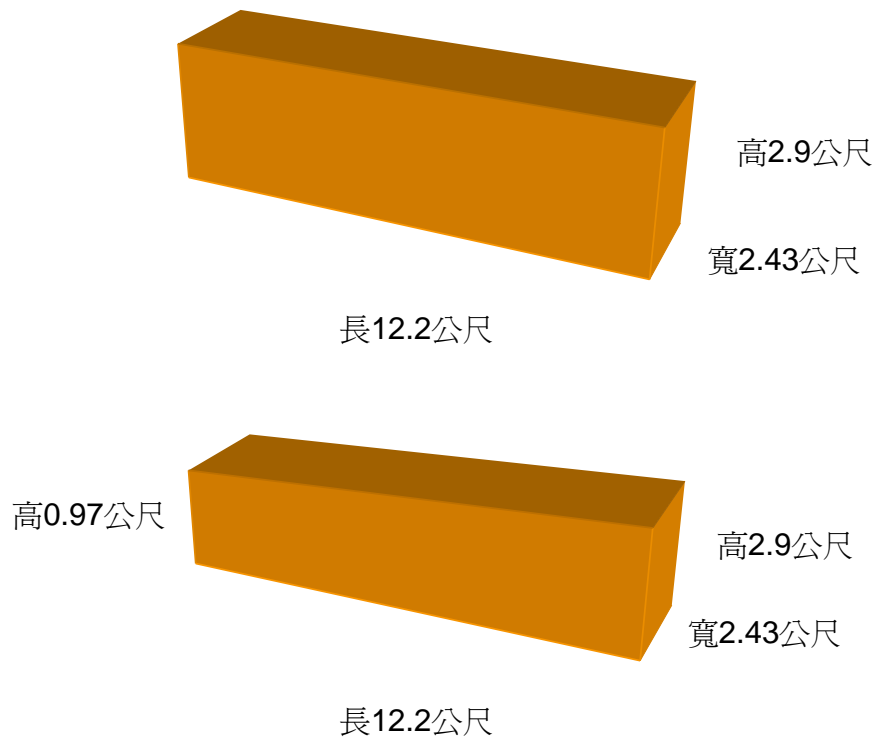


圖 2.18 貨櫃尺寸大小

比較疊合測量前的水深色階圖可參照圖 21，圖中有二個貨櫃，取其中一個作為率定使用即可，取貨櫃 B 作為範例，局部放大後，可看出測線來回量測的貨櫃位置並不相同。

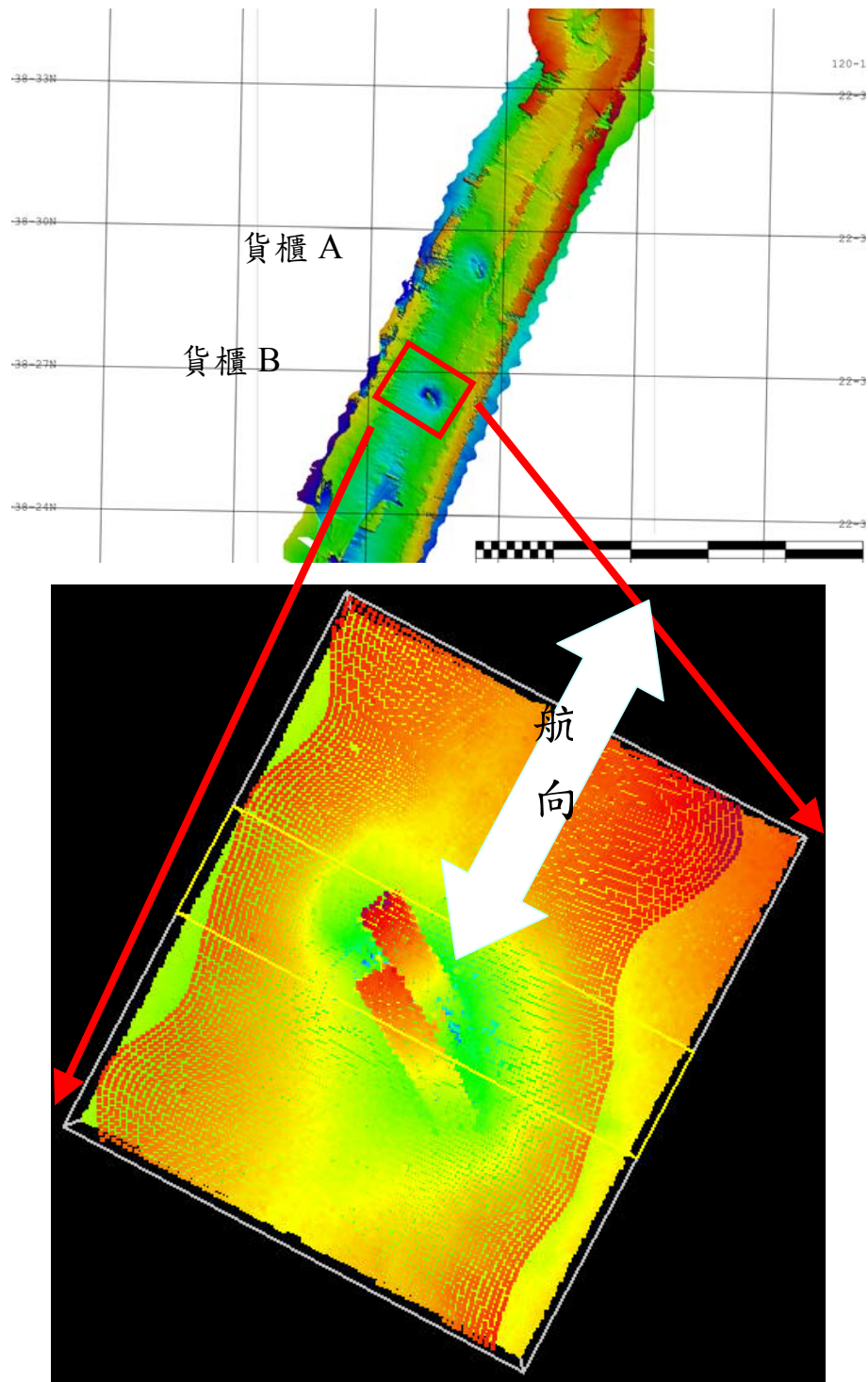


圖 2.19 率定參數(L,P,R,Y)為(0,0,0,0)水深色階圖

調整 Roll 角為 2.5 度後，整體水深色階圖較為平滑，可參照圖 22，由貨櫃 B 局部放大圖可看出來回量測的貨櫃 B 位置仍然不同，但是偏移方向可定義出在航向方向的偏移。

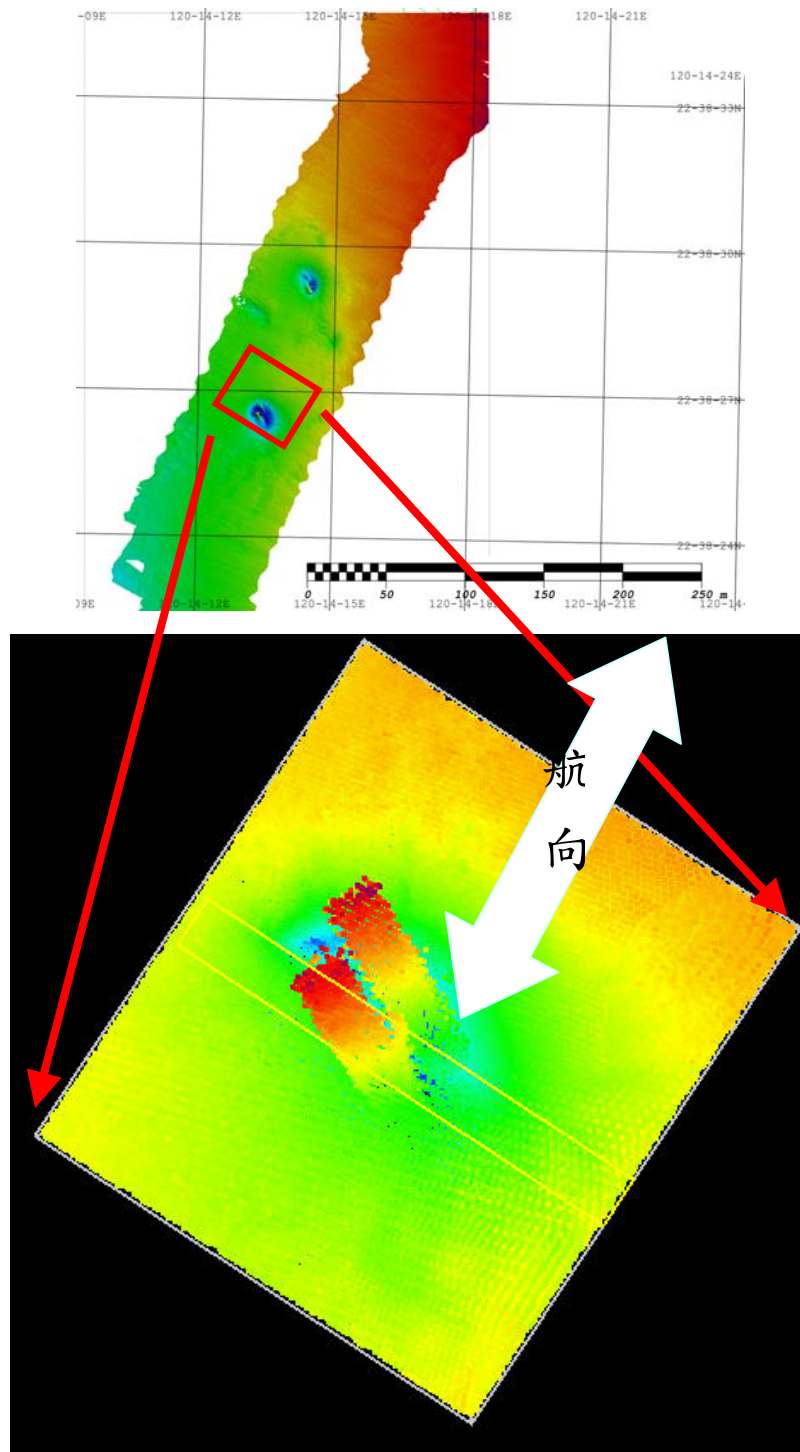


圖 2.20 率定參數(L,P,R,Y)為(0,0,2.5,0)水深色階圖

在調整 Roll 角為 2.5 度，Pitch 角為 7 度後，色階圖更為平滑，局部放大後，可看出測線來回量測的貨櫃位置已經重疊。

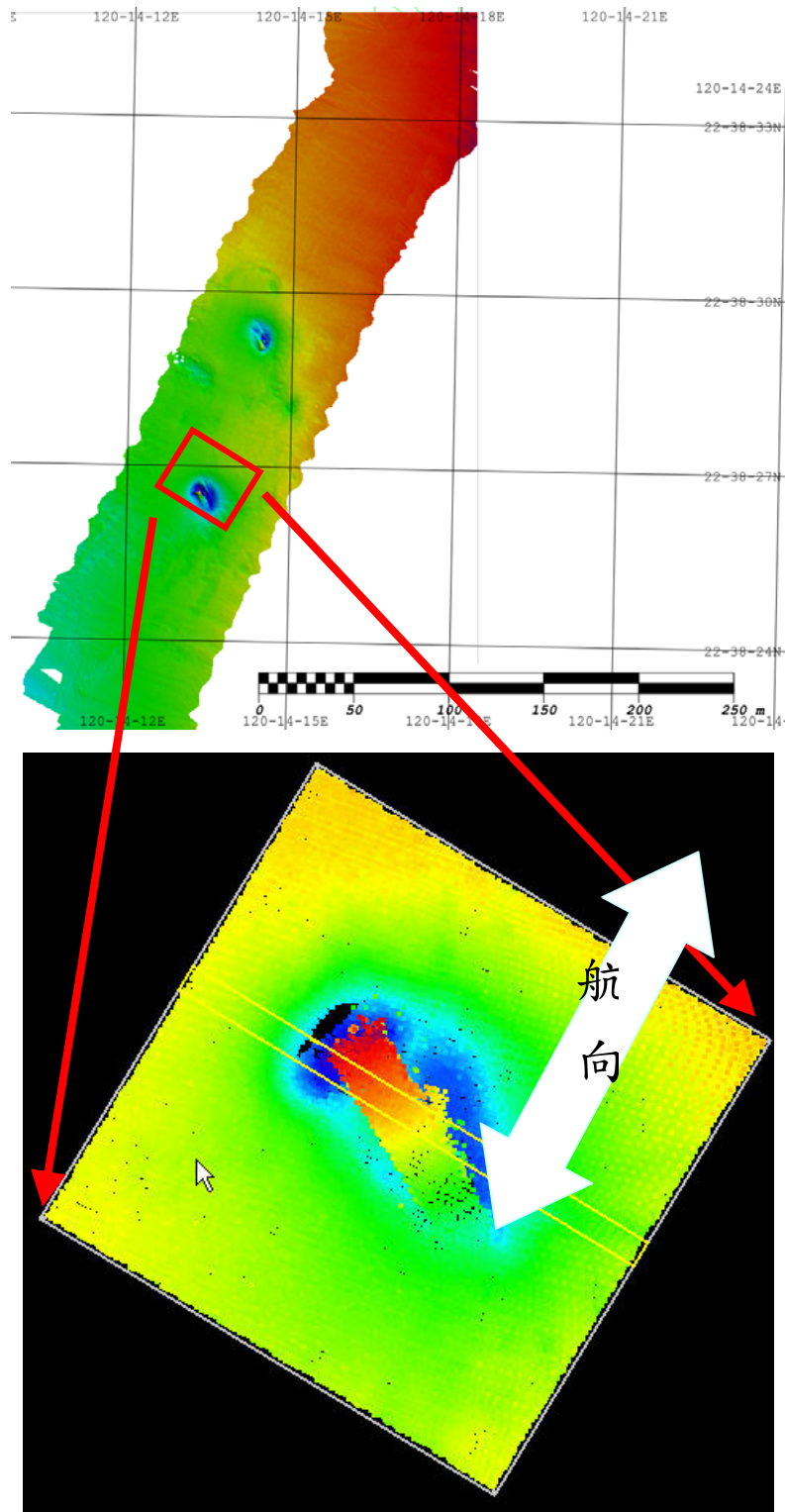


圖 2.21 率定參數(L,P,R,Y)為(0,7,2.5,0)水深色階圖

## 2.6 RTK 及 PP 的應用在多音束測深精度比較

要縮減足印尺寸除了採用較小角度的音束束寬，另一種方法就是縮減音鼓與目標物的距離，但二種方法都有其極限。率定作業吸收各種誤差源，不易獨立分析提升精度，因此本小節針對定位模式比較即時動態差分定位(RTK)及後期處理(PP)，探討提升定位精度的可行性。

### 2.6.1 RTK 及 PP 定位原理之差異

差分式定位的原理為比較二個不同 GNSS 定位位置(基站：已知點，移動站：未知點)，將當時各 GPS 衛星的虛擬距離觀測誤差量(基站位置-GNSS 定位位置)作為修正的移動站各 GNSS 衛星之虛擬距離觀測誤差的依據，其限制條件是二個 GNSS 定位儀必需同時接收到相同的衛星訊號，並依據採用頻道(L1/L2, C/A code 等)、共同衛星數量及距離等條件而有不同的定位精度等級。過去的 GNSS 機型會依據差分原理區分為差分式定位(DGPS)或即時動態差分定位(Real Time Kinematic, RTK)，唯目前的 GNSS 機型以使用者為導向，除了告知使用者，定位模式為 DGPS, float, fixed 外，同時會顯示定位精度的估算值(公分)，NMEA 定位模式代碼表可參照表 2.2。DGPS 及 RTK 是利用無線電(Radio Modem)或其他傳輸機制，傳送即時”差分值”以供移動站修正，”即時”的特性與後期處理(Post Processing, PP)相對各自具有特定的優缺點，以下列出 RTK 與 PP 的優缺點列表：

表 2.6 即時動態差分定位及後期處理比較表

	即時動態差分(RTK)	後期處理(PP)
時效性	即時快速	非即時，處理時間長
精度	快速高精度	可獲得較高精度
穩定性	傳輸訊號可能受到干擾而跳點	類似靜態(Static)測量，不需要額外通訊機制
其它	基站的選擇與成果品質相關性高	需要大量記憶體



### 2.6.2 即時動態差分定位優點

1. 即時資訊應用層面很廣，疏浚、測帶重疊判視、測量導航、水下搜尋定位、水下管線探勘…等，多種水深量測作業都需要即時高精度的定位。
2. 考慮量測目的，對於大部份水深量測定位精度需求 DGPS 已經足夠，只有部份特殊的量測目標需要提高至 RTK 水平定位精度 10 公分以下。
3. 使用 RTK 定位可降低多音束測深測帶重疊不良的情況。

### 2.6.3 即時動態差分定位缺點

1. 傳輸”差分訊號”的無線電及其他傳輸方法都有其極限，干擾斷訊容易產生航跡(track)跳點的情形，可參照圖 2.23 蘇澳港 RTK 航跡圖，圓圈內鋸齒狀的航跡，在圖 2.24 蘇澳港 PP 航跡圖中則已經修正。
2. 特別是近岸作業或港區作業，RTK 無線電受到雷達等因素干擾的情形屢見不鮮。
3. 受限”即時”的限制，RTK 的運算機制採用”快速”及”高精度”的原則，而非”最佳”的演算方法與模式參數。
4. 陸上量測可重新檢驗目標物與 GNSS 定位點的差異，但水深量測作業受限量測原理，足印尺寸與航隻航行作業方式，要量測到同一大小足印尺寸與音束角幾近不可能，RTK 定位資料的正確性不易驗證。且 RTK 的資料都以”即時”為主要原則，定位品質難以追溯。
5. RTK 需要初始化時間，需要等待精度達到量測精度規範，而初始化時間與衛星幾何分佈狀況(DOP)成正相關，衛星訊號及高度角會隨時伴隨著船隻運動(pitch, roll, yaw)而改變，而船隻在海上受風、流與浪作用不可能完全靜止，無形中海上作業都增加初始化所需時間，因此作業時需要隨時注意定位精度是否達到工作規範之要求。
6. RTK 基站與移動站有距離與通視的限制條件。

7. 移動站切換 RTK 基站訊號時，可能會有資料中斷的情形。

#### 2.6.4 後期處理優點

1. 沒有差分訊號被干擾的問題，並且可篩選不良的衛星訊號時段。
2. 可選擇”最佳”的解算模式及參數或其它疊代法演算。
3. 近年來後期處理軟體可使用多個基站解算動態結果。

#### 2.6.5 後期處理缺點

1. 量測作業後才能獲得精準定位資料，時效性不佳。
2. 需要大量記憶空間：後期解算需記錄 GNSS 原始資料，記錄頻率需與 RTK 相同，至少每秒 1 筆以上，如果使用 RTK Tide 作為潮位修正，其中 GNSS 高程包含潮位修正及湧浪(heave)修正，考量湧浪的期週變化，每秒 5 筆以上的資料才足以度量船隻運動的變化。
3. 需要額外的軟體、工時與專業技術。

#### 2.6.6 RTK 及 PP 的實驗結果

本實驗採用蘇澳港多音束測深資料作為實驗範例，作業日期自 99 年 5 月 12 日至 99 年 5 月 15 日，除了自行於蘇澳港港務大樓樓頂架設基站(A1)，可參照圖 2.22，並且同時蒐集蘇澳氣象站的基站(A2)資料作為後期處理使用。由 RTK 及 PP 定位處理的航跡結果可參照圖 2.23 和圖 2.24，圖 2.23 蘇澳港 RTK 航跡圖中圓圈內，可以發現有規則的鋸齒狀航跡，可能是無線電訊號受到干擾而產生航跡(track)跳點的情形，在圖 2.24 蘇澳港 PP 航跡圖中則趨於平滑。





圖 2.22 蘇澳港 GPS 基站照片

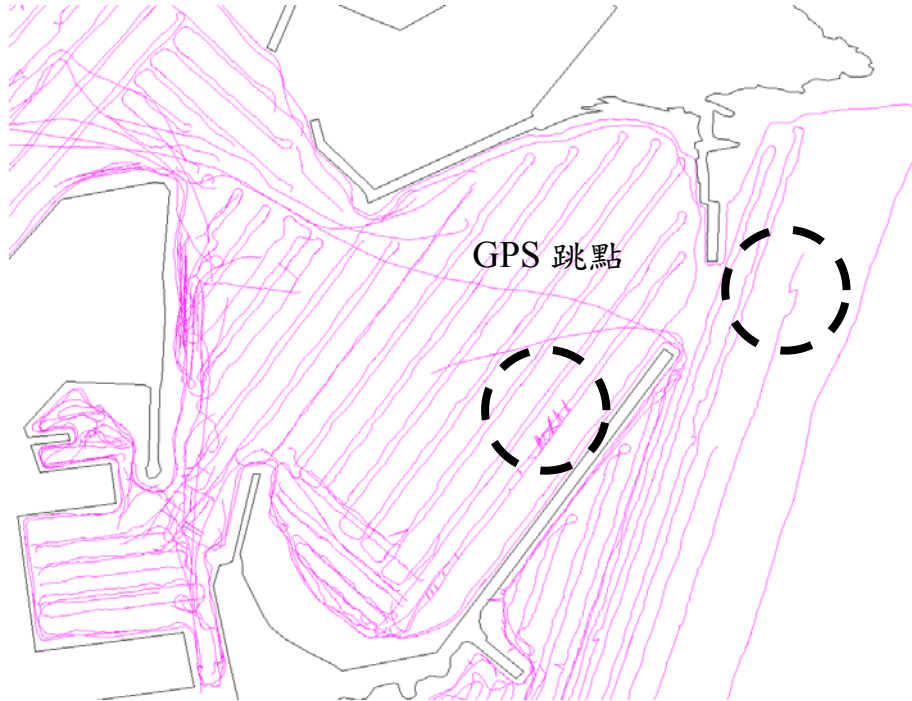


圖 2.23 蘇澳港 RTK 航跡圖

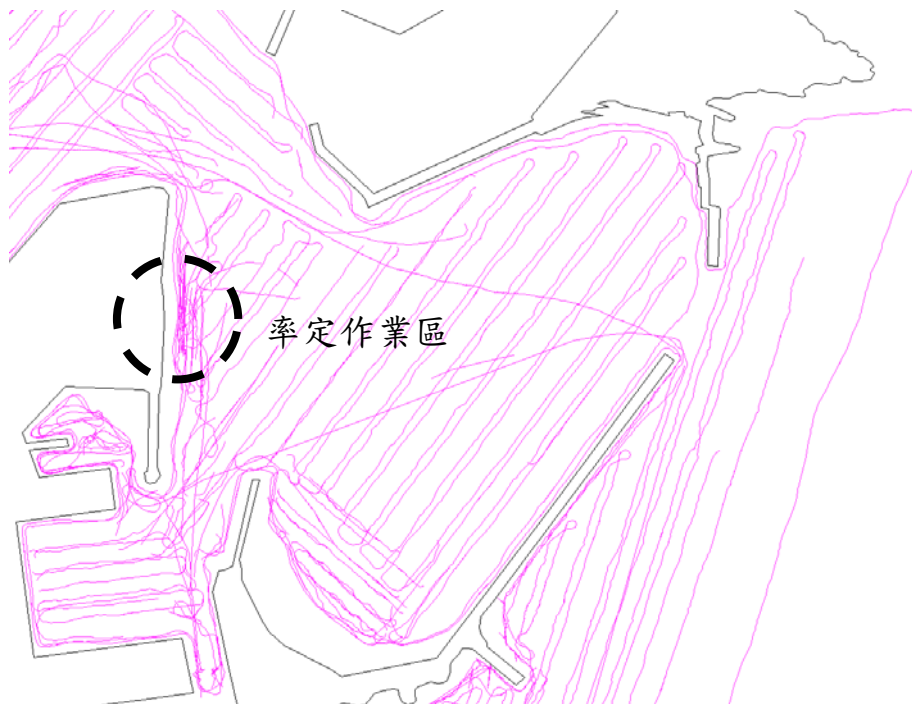


圖 2.24 蘇澳港 PP 航跡圖

本次實驗 RTK 的基站設於蘇澳港港務大樓(A1)，PP 則使用二個基站(A1&A2)的原始定位資料解算成果，由圖 2.25 中可看出 RTK&PP 的航跡並不相同，由於率定參數會吸收其它的誤差值，定位資訊的差異造成率定結果的變化並不意外，率定參數可對照表 2.7。

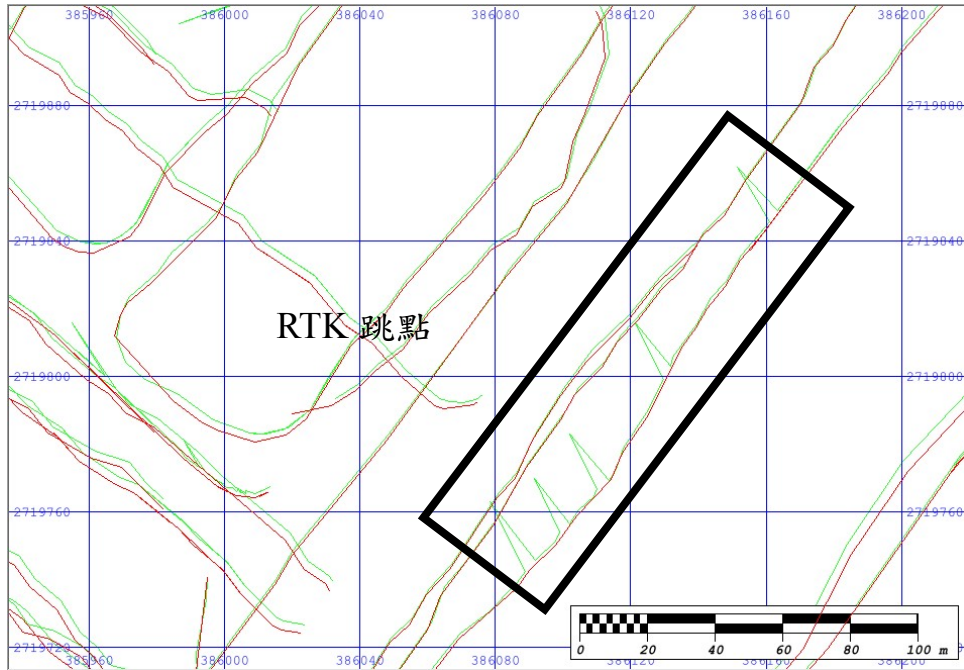


圖 2.25 蘇澳港 RTK&PP 航跡放大比較圖(紅色 PP,綠色 RTK)

表 2.7 RTK 及 PP 之疊合測量(Patch Test)結果

	Positioning time delay	Pitch	Roll	Yaw
RTK	0	6.5	-2	-3
PP	0	5.65	-2.65	-6

由定位差異造成的率定參數差異會影響全部的資料層面，但若繪製成 2 公尺網格水深色階圖後，發覺差異性不明確，可參照圖 2.26 和圖 2.27，其主要的原因是網格化以後，網格間距( 2 公尺)以內的水深經過平均處理後，會降低定位誤差與疊合測量率定誤差的影響。大部份的海床坡度都是平緩，變化緩慢，若以製作網格圖、等深線圖及剖

面而言，2 公尺的定位精度常足以表現海床地形之變化趨勢，至於特徵物的定位精度則在下一小節討論。

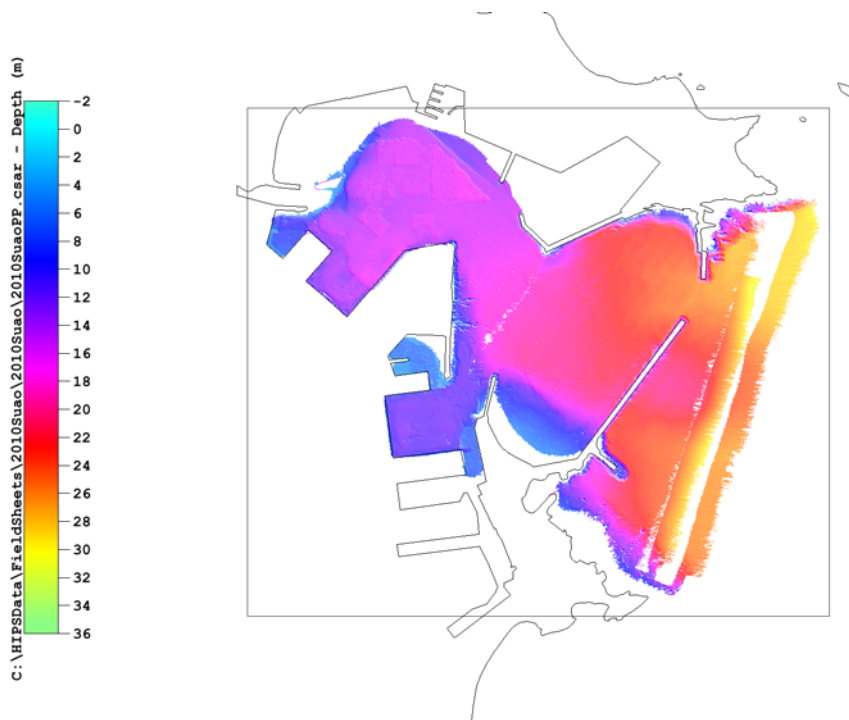


圖 2.26 蘇澳港 2 公尺網格 PP 水深色階圖

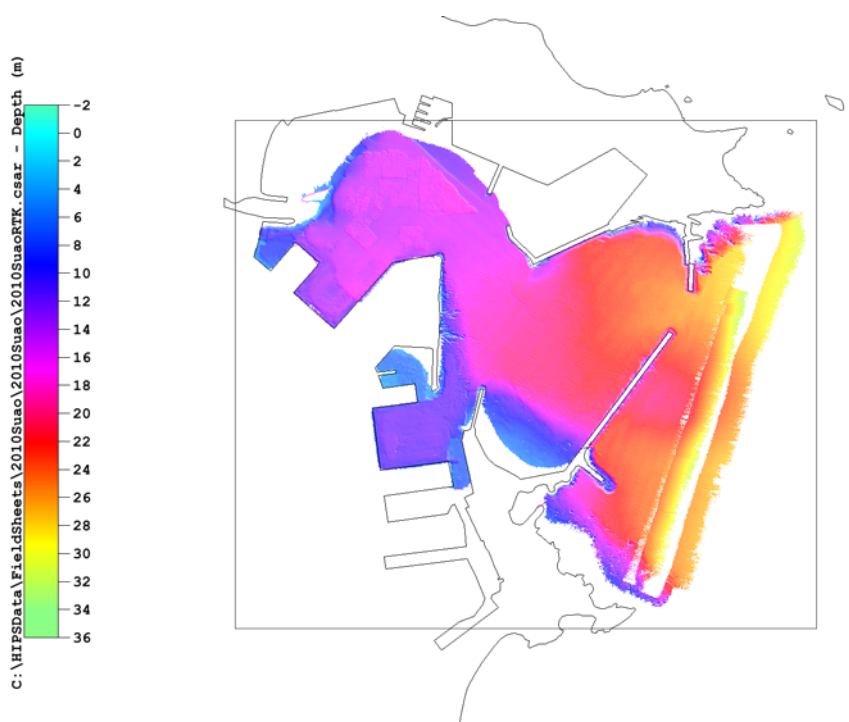


圖 2.27 蘇澳港 2 公尺網格 RTK 水深色階圖

### 2.6.7 RTK 及 PP 量測水下特徵物成果比較

量測水下特徵物時，若是有定位誤差及疊合測量率定誤差造成水平偏移量大於特徵物的尺寸，若連續量測水下特徵物二次，常會產生二個目標物，可參照圖 2.28，而圖中二個目標物實際上為同一個特徵物。

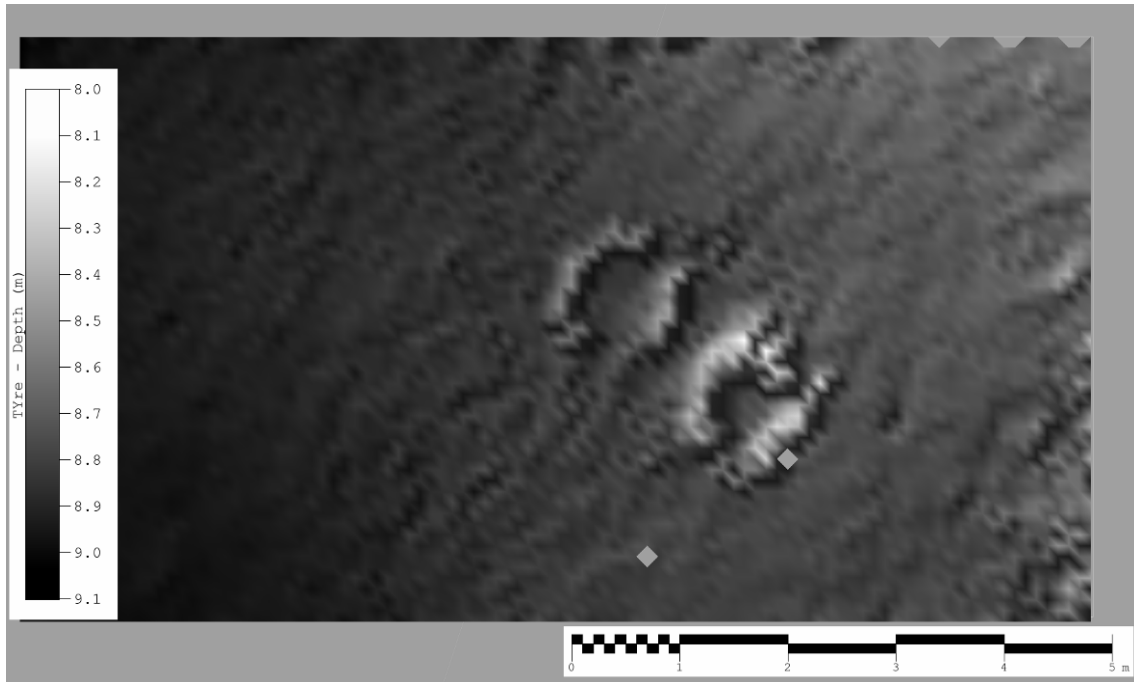


圖 2.28 海床上輪胎之位置偏移約 1.5 公尺

若足印尺寸為 2 公尺，而採用精度約在 10 公分之內的 RTK 定位方法並無實質意義，也就是定位精度與聲納量測足印大小並不匹配。以圖 2.28 中之影像為例，其中之輪胎直徑約 1 公尺，由測深資料顯示約包含 10 個水深點，其足印約介於 0.1-0.3 公尺，亦即定位精度應小於或等於 0.1-0.3 公尺。由圖 2.9 中顯示若要控制足印尺寸在 0.1-0.3 公尺之間，只能在水深 10 公尺以內的水域作業，如果要評估 2~3 公分的定位精度，能作業的水深必需在 5 公尺以內的水域。

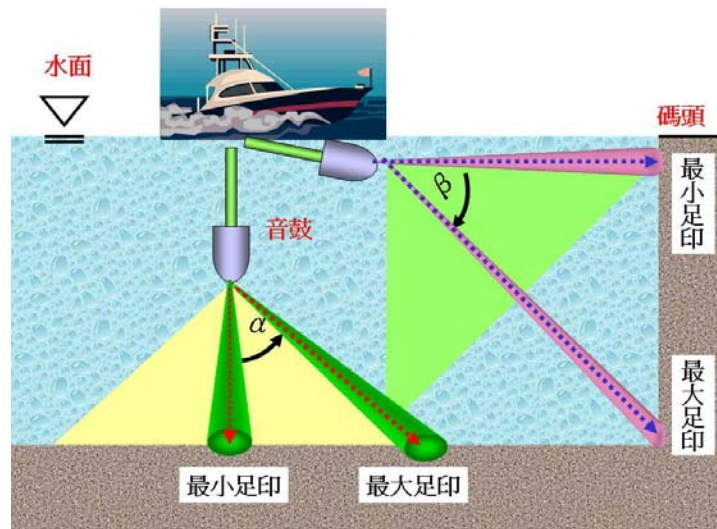


圖 2.29 多音束量測水下垂直結構物足印示意圖

本研究的作業方法為採用同一航向及航速連續量測水下垂直結構物二次，理論上定位精度的優劣將決定垂直結構物重疊的程度。本實驗採用之多音束測深音鼓張角(swath angle)為 120 度(小於 180 度)，因此向右旋轉約(Roll)20 度角左右，使音束足以量測水下垂直結構物。實驗區域同樣採用蘇澳港的量測成果，可參照圖 2.30，圖中採用同一航向及航速量測水下垂直結構物二次，其中採用 RTK 定位得到的成果，可以發現測深成果會分離為二個水平間距約 1 公尺的垂直面。但若採用 PP 定位量測成果，則其垂直面水平間距會縮減至 0.5 公尺左右，因此若以所量測到的垂直面的水平間距差異來判斷，PP 定位精度應該優於 RTK 定位精度，由此可知 PP 定位精度比 RTK 應該更適合水下垂直結構物的檢測。

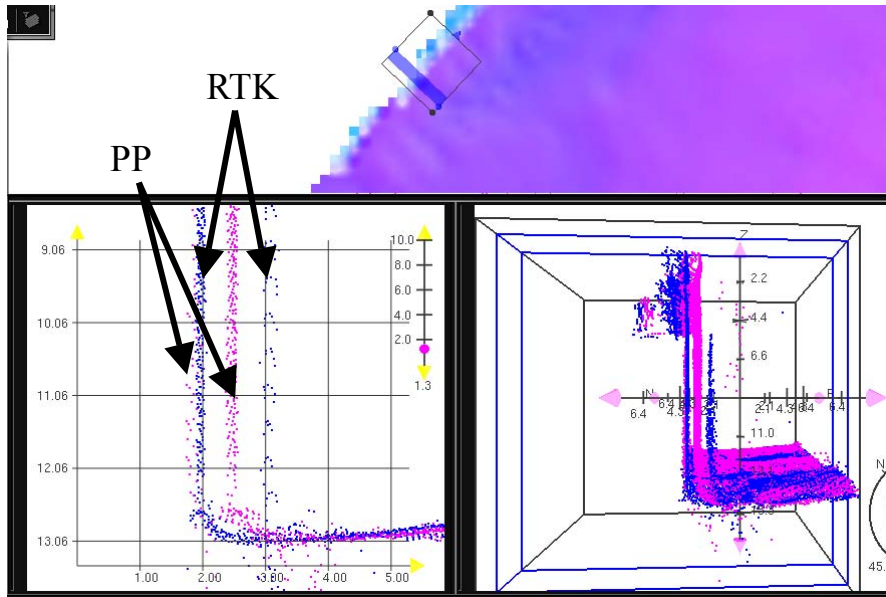


圖 2.30 RTK&PP 量測水下垂直結構物的差異

## 第三章 長基線水下定位系統之介面開發

### 3.1 水下載具與定位

#### 3.1.1 水下載具簡介

水下無人遙控載具(Remotely Operated Vehicle, ROV)需要透過電纜與水面工作船連結，獲得載具所需的電力，同時透過電纜將控制命令由水面傳送至水下載具，而水下載具感應器的資訊亦透過電纜傳送至水面。依水下作業不同，ROV 設計尺寸與耐壓深度有很大的不同，基本系統架構包含浮力控制系統、電力系統、推進系統、通訊系統、水密艙、感測系統、採樣系統；若採用開放式機架方式，可依照不同水下作業方式加裝不同儀器設備。ROV 作業範圍很廣，包括海底觀測與採樣、海底油田探勘、海底電纜佈放與維修等。ROV 作業水深越深，其電纜所受的流體阻力就越大，所以進行深海作業時，通常會使用電纜中繼系統 TMS (Tether Management System)，藉由 TMS 將 ROV 佈放至離海床一定的高度，再釋放 ROV 進行水下探勘作業。

自主式無人水下載具(Autonomous Underwater Vehicle, AUV)靠著本身內建電力與自主式導航系統，依據所規劃的任務執行水下作業。為了延長水下作業時間，通常 AUV 設計為流線型和低水阻。當工作船無法接近目標區、訊號纜線會纏繞等某些特殊因素下，就必須使用 AUV 而無法使用 ROV，且工作區域廣闊時，利用 AUV 勘查會比 ROV 有效率。AUV 作業包括深海探勘、深海地形測繪、軍事偵察等。



### 3.1.2 水下定位方法

水下載具作業，往往必須倚靠精確的定位才能順利完成工作。由於電磁波與光波能量在水中容易衰減，因此衛星定位及全測站(total station)等儀器並不適用於水下定位。目前市面上經常採用的水下定位方法可分為二種形式：慣性導航(Inertial navigation)及聲學式定位(Acoustic positioning)。慣性導航的優點是相對精度很高，主要缺點是經由積分所累積的定位誤差值會隨時間增長而變大，因此適用於短期間的相對位移計算。去年度計畫書中已概述其原理及應用層面，由於此方法不在研究主題內，在此僅概述介紹。

水下聲學的定位通常需要在海床或是水面船底佈放應答器，應答器之間的相對距離稱為基線。根據基線的長短，水下聲學的定位方式可分為長基線短基線、以及超短基線定位，分述如下：

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

如圖 3.1所示，長基線定位系統包含數個應答器，作業時將應答器錨碇於海床固定處，其位置乃根據大地座標定義來描述，而長基線收發器則固定於船上或是水下載具。進行水下定位時，收發器送出一聲訊，當應答器收到此一聲訊時，便回送一聲訊給收發器。藉由聲波傳送的時間與水層聲速，便能求得收發器至每一個應答器之間的距離（斜距）。透過斜距交會，便可以計算出收發器的絕對位置。

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

短基線定位系統通常安裝在船上，至少會有三個收發器以多邊形排列安裝在船艦的底部，如圖 3.2所示。安裝時，必須盡量拉大收發器之間的距離（基線），最好能在 10 公尺以上。進行定位量測前，需先知道所有收發器的位置，位置座標以附隨在船上的座標系統為參考。定位時，僅由單一支收發器發出聲訊，應答器接收到此一聲訊後，便會回傳一聲訊至所有的收發器，藉此可以求得應答器與收發器之間的斜距離。藉由斜距以及收發器的座標位置，便能計算出應答器在附隨於船艦座標系統下的座標位置。



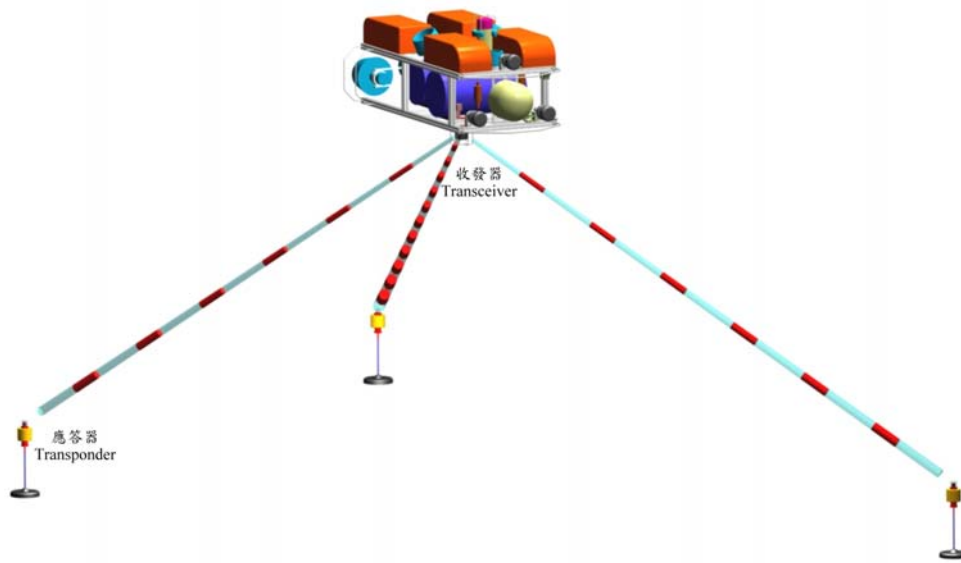


圖 3.1 長基線聲學定位(LBL)示意圖

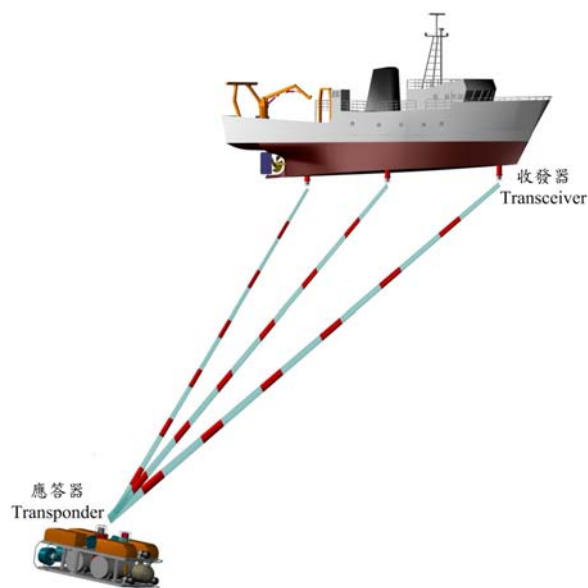


圖 3.2 短基線聲學定位(SBL)示意圖

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

超短基線的定位原理類似短基線，都是將收發器安裝在船上。短基線系統是將收發器陣列安裝在船身各不同角落，基線距離約數公尺；不過超短基線系統則是將許多換能器(Transducer)陣列建構在單一個收發器之內，基線距離只有幾公分，如圖 3.3所示。超短基線對定位距離的估算方法與短基線相同，不過收發器各個換能器收到應答器回訊的時間差比短基線小了很多，若藉由時間差來估算目標物的位置，容易產生較大的估算誤差。所以超短基線系統通常利用正弦訊號 (Sinusoidal signal) 來量測每個換能器收到回訊的時間相位 (Time-phase)，藉由換能器之間的時間相位差可以估算出目標物的水平方向角與垂直方向角，再由量得的斜距來估算出目標物的位置。

原則上，基線距離越長，定位精度也越高，這也是本年度計畫選擇長基線系統作為水下定位的原因。長基線系統進行水下定位，必須將 3 個以上的應答器固定在海床上，收發器則安裝在載具上，應答器安置後應先率定位置。相對於短基線及超短基線而言，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。若以水深 100 公尺為例，每一應答器率定作業至少需要 40~60 分鐘的時間，在佈放 4 個應答器的狀況下，其率定作業需花費 3~4 小時。

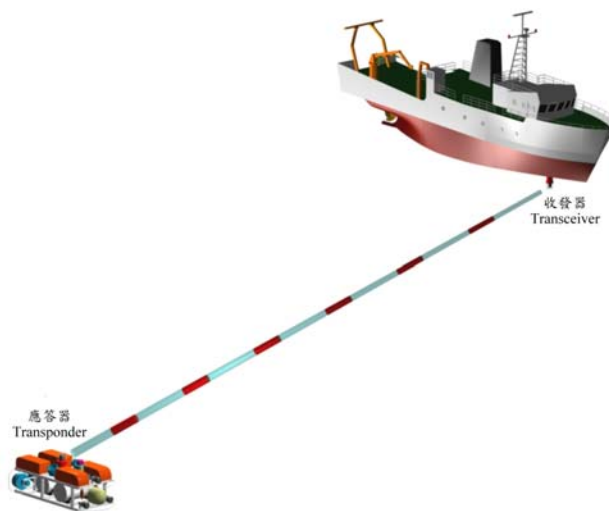


圖 3.3 超短基線聲學定位(SSBL)示意圖

## 3.2 長基線定位原理與數值模擬

### 3.2.1 定位原理

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：

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

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：

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

為了求解  $x$  與  $y$ ，將式(2)中的  $x_2$  與  $y_2$  項消去，可以得到以下關係式：

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

由式(3)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(3)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(3)可以表示成以下矩陣形式：

$$\mathbf{AX} = \mathbf{B} \quad (4)$$

其中，

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_2) & 2(y_1 - y_2) \\ 2(x_2 - x_3) & 2(y_2 - y_3) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_n - x_1) & 2(y_n - y_1) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} (r_{2h}^2 - r_{1h}^2) + (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) \\ (r_{3h}^2 - r_{2h}^2) + (x_2^2 - x_3^2) + (y_2^2 - y_3^2) \\ \vdots \\ (r_{1h}^2 - r_{nh}^2) + (x_n^2 - x_1^2) + (y_n^2 - y_1^2) \end{bmatrix} \quad (7)$$

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  $(x, y)$ ：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} (\mathbf{A}^T \mathbf{B}) \quad (8)$$

### 3.2.2 數值模擬

為了驗證長基線系統的定位精度，本研究擬在水深 30 公尺左右的海床上佈放四支應答器，並將收發器安裝在工作船底部進行定位實驗測試。由於收發器安裝於船隻底部，所以可以藉由 GPS 與船隻姿態精確量測收發器的位置。此外，利用長基線定位方法也可以量測收發器的位置。因此，本研究可以藉由比對 GPS 量測之收發器位置與長基線定位量測之收發器位置，來探討長基線系統的定位精度。

由於長基線定位必須整合三支以上應答器的斜距資訊，才能估算出收發器的位置。理想上，收發器詢答所有應答器時，其位置應該維持不變。實際上，由於海流的影響、或是水下載具作業移動的需求，收發器的位置不可能維持在固定一點。也就是說，收發器並不是在同一個參考座標位置上取得所有應答器斜距的資訊，所以利用這些斜距來估算收發器的位置便會產生誤差。因此，進行實海域定位實驗之前，本研究先藉由數值模擬結果，來瞭解長基線系統作業時可能產生的定位誤差。

由於擬定的作業水深為 30 公尺，所以本研究將四個應答器擺放為  $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$  方形陣列，四個應答器皆置於水深 30 公尺處。初步設定水下載具作業範圍為應答器陣列中心方圓 30 公尺內(如圖 3.4)、移動

速度不超過 3 節，所以本數值模擬設定船繞著半徑 30 公尺的圓進行長基線定位，分別探討船速為 1、2、3 節、應答器詢答間隔時間分別為 1、3 秒時的定位誤差。

當收發器詢答間隔時間為 1 秒時，不同船速所造成的收發器定位估算誤差如圖 3.5 所示。當收發器詢答間隔時間為 3 秒時，不同船速所造成的收發器定位估算誤差如圖 3.6 所示。

### 3.2.3 結論

水下載具（或是工作船）進行長基線定位詢答作業時，並非固定不動，因此收發器詢答各支應答器的位置並不相同，亦即各支應答器斜距的量測基準不一樣，以致於進行最小平方位位置估算時，會產生誤差。由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，必須倚賴融合其他外部感測資料，才得以降低定位誤差，其作法將於第四章詳細說明。

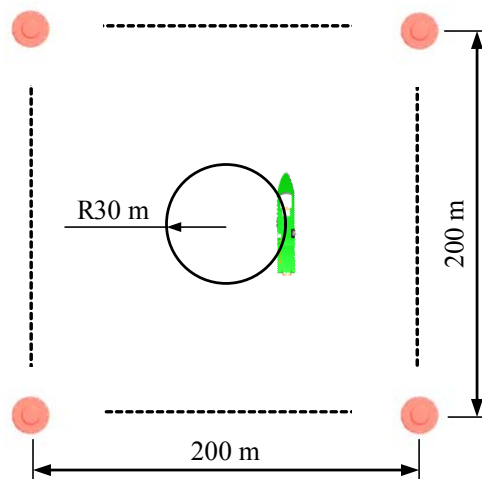


圖 3.4 應答器陣列擺放示意圖

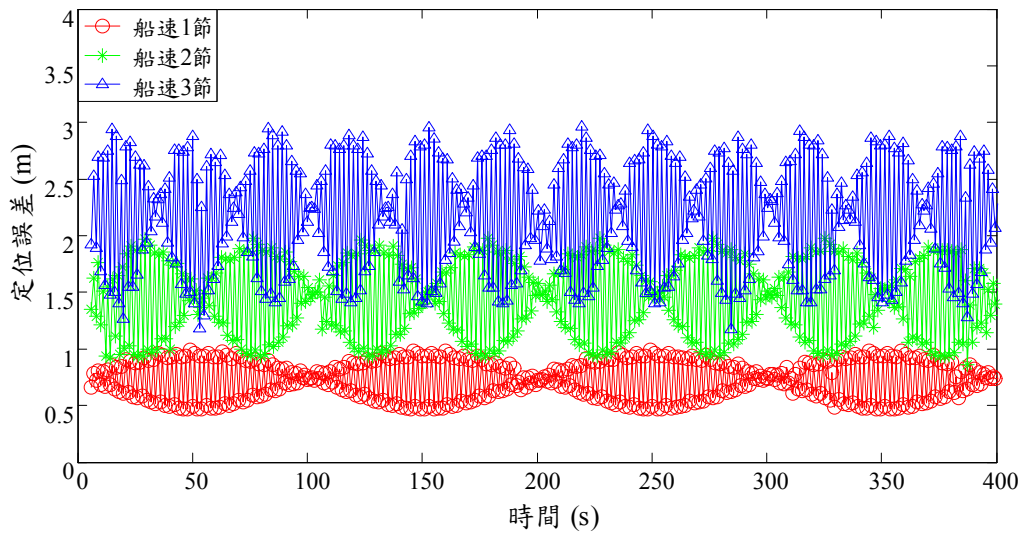


圖 3.5 詢答時間間隔為 1 秒時，不同船速下之定位估算誤差

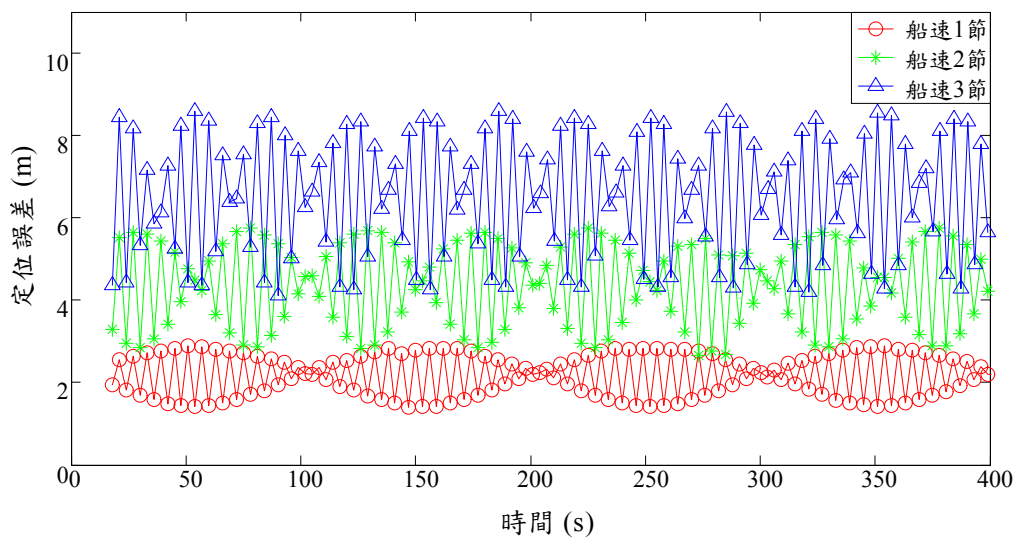


圖 3.6 詢答時間間隔為 3 秒時，不同船速下之定位估算誤差

### 3.3 長基線定位資料接收介面與導航介面

#### 3.3.1 硬體架構

圖 3.7為水下載具長基線定位的硬體架構圖，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。一般 ROV 上皆配備前視彩色 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。

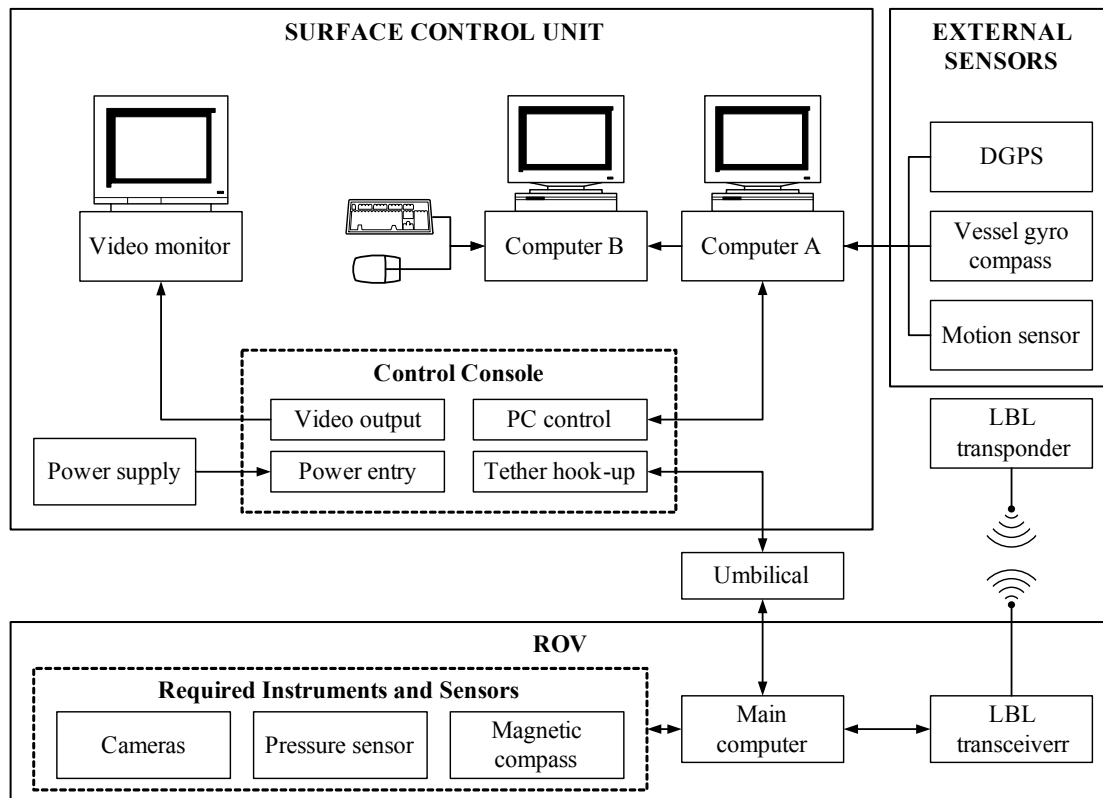


圖 3.7 系統硬體架構

### 3.3.2 軟體架構

軟體架構如圖 3.8所示，包含感測資料融合以及圖形顯像兩個獨立的處理程序。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。

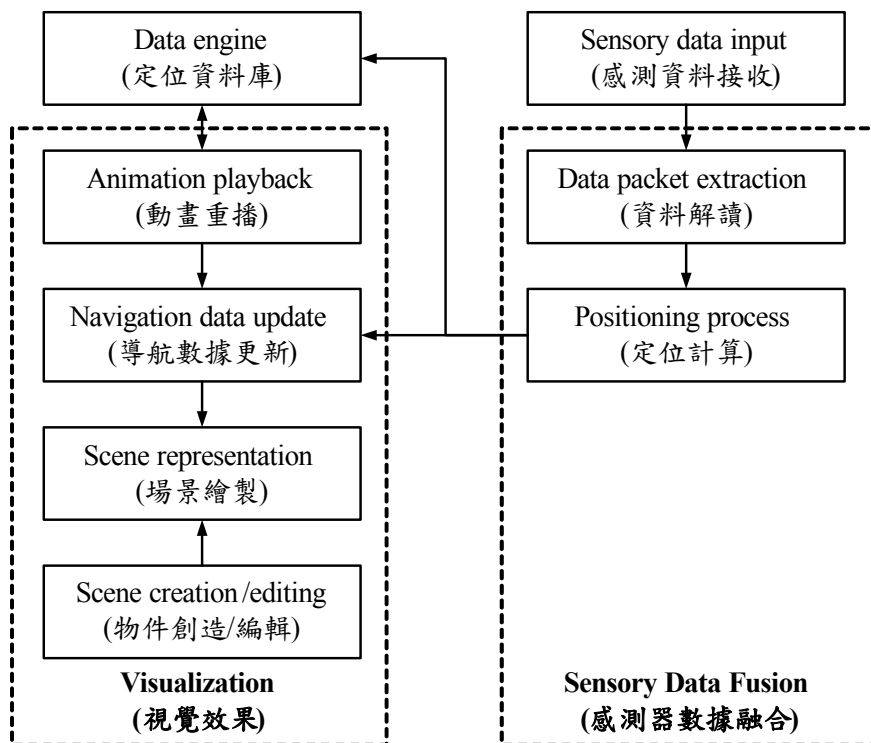


圖 3.8 系統軟體架構



### 3.3.3 介面開發

本研究使用之長基線定位系統如圖 3.9所示，包含一個收發器與四個應答器。進行長基線定位之前，必須先量測與估算每個應答器的位置。應答器位置的量測與估算方式，可利用水面工作船裝載收發器、GPS、運動感測器，於應答器上方附近水面詢答應答器，以取得斜距與收發器定位座標，再藉由數個斜距資料以及收發器座標資料來估算應答器的位置。進行長基線定位作業時，收發器必須依序詢答應答器，藉由收到應答器回傳訊號的時間與水層聲速來計算兩者之間的斜距。

由於上述作業涉及長基線定位系統、GPS、運動感測器、ROV 之命令傳輸和資料接收，因此為了整合定位系統與感測器之資料接收，本研究開發了定位資料接收介面，如圖 3.10所示。此介面之功能簡述如下：

各個定位系統與感測器皆採用序列埠通訊（RS232 serial communication）進行資料傳輸，但由於各個定位系統與感測器之資料傳輸速率不同，也使用不同的通訊埠，所以此介面 Serial Port Configuration 中可以設定長基線定位系統、GPS、運動感測器、ROV、以及定位資料輸出的通訊協定，包括通訊埠、鮑率(Baud rate)、資料位元(Data bits)、停止位元(Stop bits)、同位檢查(Parity)。

長基線定位系統在作業前，都必須先喚醒(Wake up)應答器。因此，本定位資料接收介面包含一個 Wake Up 功能，可以選擇喚醒特定應答器。

擷取定位資料時，收發器必須連續詢答應答器，才能量得收發器與應答器之間的斜距。而在實際海域作業時，詢答時間間隔(Interval of interrogation)與應答器水深有關，倘若應答器置於水深較深的地方，詢答時間間隔就必須拉長，因此本介面包含詢答時間間隔設定功能，可以因應不同水深之定位量測。

一旦四支應答器位置估算出來之後，資料接收介面中便可以輸入應答器位置，以進行長基線定位作業。進行長基線定位作業時，收發

器連續詢答各個應答器，並即時解讀定位資料。其他感測器的資料以及長基線定位資料會即時顯示在介面下方的感測器讀數區，同時將資料輸出至 ROV 定位導航介面(圖 3.11)中顯示。

ROV 定位導航介面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，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。



圖 3.9 長基線定位系統

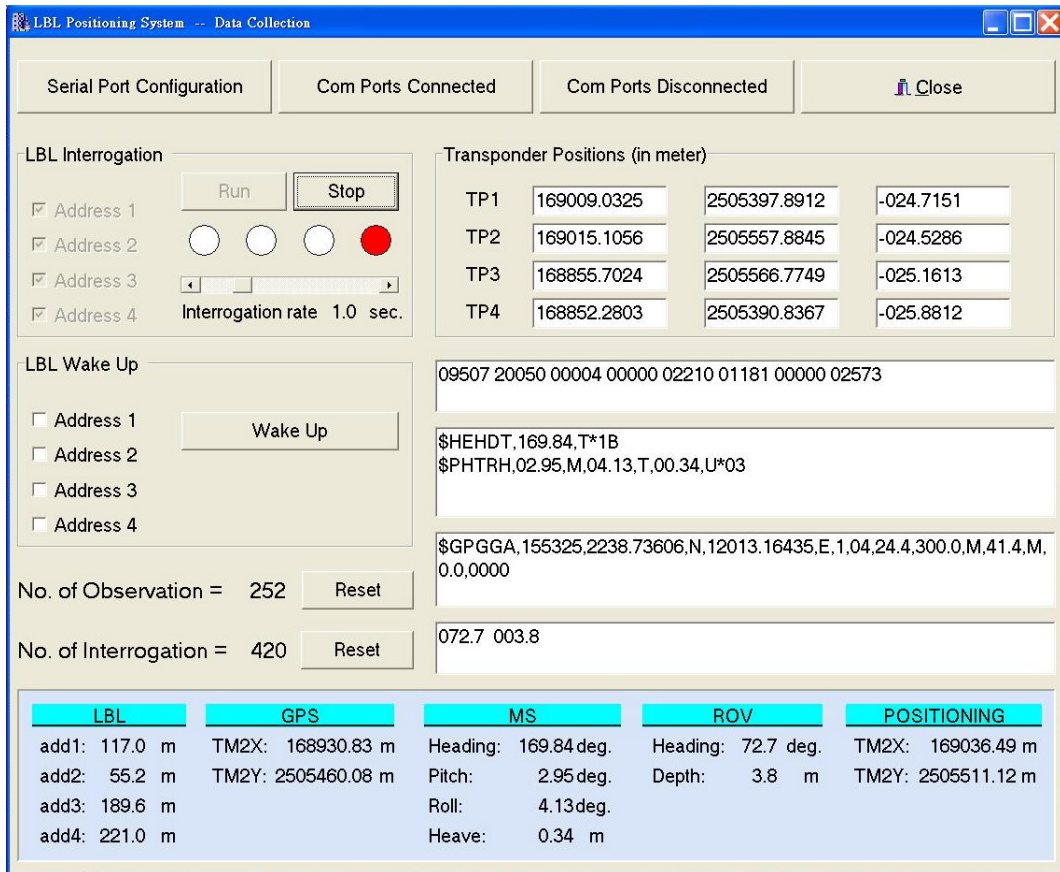


圖 3.10 長基線定位資料接收介面

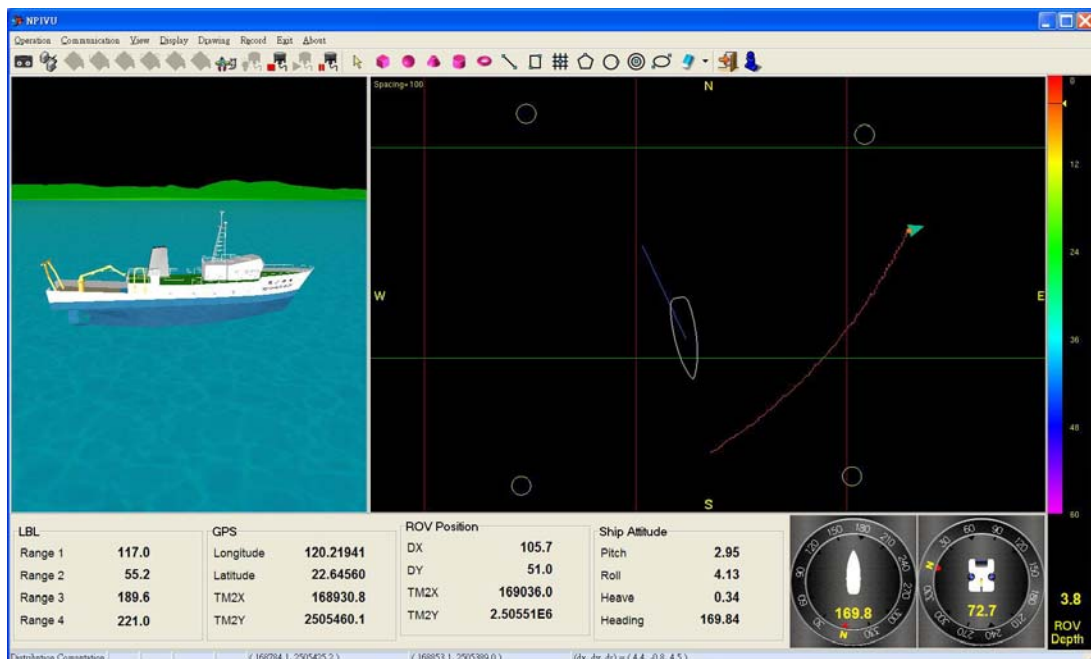


圖 3.11 ROV 定位導航介面

## 第四章 長基線水下定位系統的精度探討

### 4.1 實驗作業規劃

本研究案採用 LinkQuest 公司的 PinPoint 1500 的長基線系統，其距離量測精度為 0.15~0.5 公尺，距離量測範圍最大可達 1500 公尺，其他詳細規格如表 4.1 所示。為了探討此一長基線系統之定位精度，本研究已進行實海域測試，其作業規劃如下：

1. 作業水深約為 30 m，於海床上佈放四個應答器，形成方形陣列，應答器間距則約為 150 公尺左右。
2. 長基線收發器原本應安裝在水下載具上，為測試其定位精度，本實驗將收發器安裝在船隻底部進行定位實驗。由於收發器安裝於船隻底部，所以可以藉由船上的 GPS 資料精確量測收發器的坐標位置。此外，利用長基線定位資料也可以估算收發器的位置。由於 GPS 資料經過處理之後，其定位精度可達 1~10 公分，因此，本研究擬藉由比對 GPS 量測之收發器位置與長基線定位估算之收發器位置，藉以探討長基線之定位精度。
3. 進行長基線定位之前，必須先估算每個應答器的位置。應答器位置的估算方式，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 坐標，再藉由數個斜距資料以及收發器的坐標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收發器坐標，就可以反算出應答器的位置。然而，斜距和收發器的坐標資料隱含量測誤差，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收發器的坐標資料，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 4.1 所示。利用數值最佳化方法估算應答器位置，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。

表 4.1 長基線 PinPoint 1500 系統規格

項目	收發器規格	應答器規格
精度	0.15~0.5 m	
有效距離	1500 m	
有效角度	210° (omni-directional)	210° (omni-directional)
頻率	26.77~44.62 kHz	26.77~44.62 kHz
發射功率	20 W	20 W
接收器功率	0.8 W	0.8 W
休眠模式功率		8 mW
連續詢答時限		8 × 24 hours
電池運作時限		2 years
尺寸大小	13 cm × 23 cm	13 cm × 50 cm
電壓	18~28 VDC	19~24 VDC
空氣中重量	3.3 kg	6.8 kg
水中重量	1.4 kg	2.8 kg
可用頻道		32 個

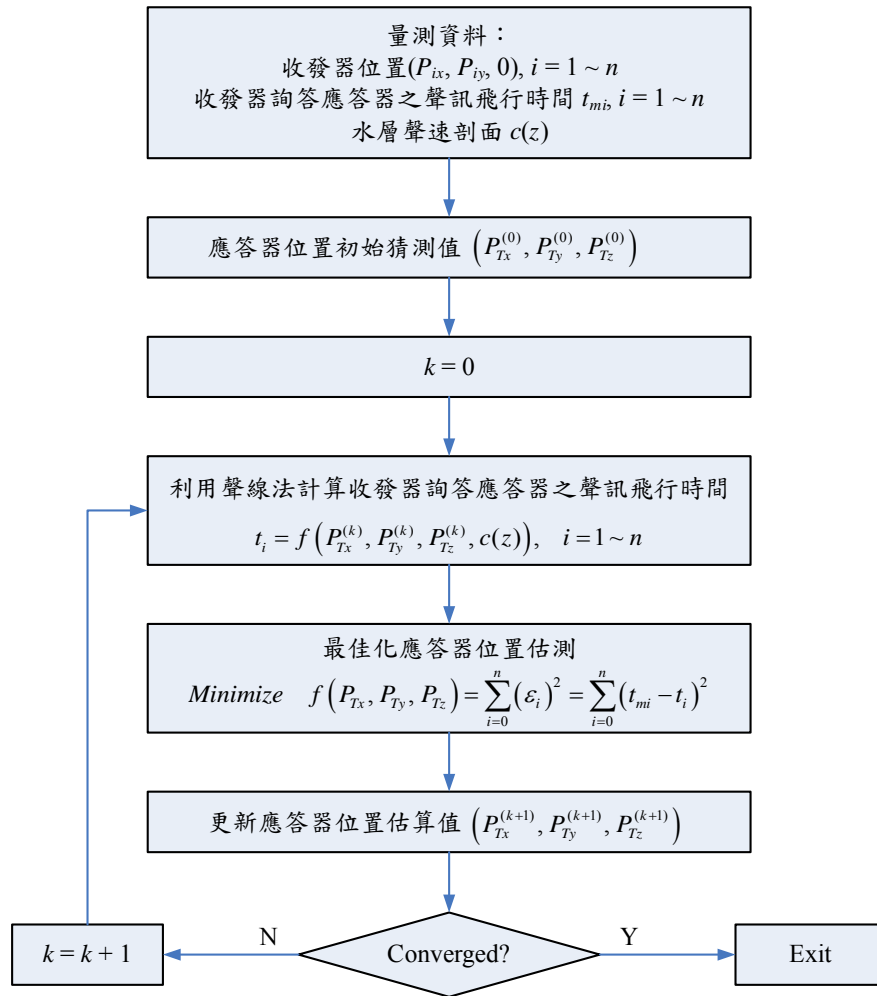


圖 4.1 應用最佳化方法估算應答器位置之流程

4. 應答器位置完成校正之後，利用收發器連續詢答各支應答器，以取得收發器與各個應答器之間的斜距資訊，用以估算收發器的位置。由於一般載具均配備深度計，所以載具的深度資訊可視為已知，因此長基線定位主要在求得載具的水平坐標  $(x, y)$ 。配合深度計資訊，基本上採用兩個應答器的斜距資料就可以解算出載具的位置，不過收發器的位置有兩個解，分列於基線兩側，在實際水下定位作業過程中，有可能不易分辨載具的真正位置。當採用三個以上的應答器斜距資訊時，便可解決上述問題。



## 4.2 實海域量測

民國 99 年 7 月 9 日，本研究於高雄外海(22° 38' 44" N, 120° 13' 13" E)進行長基線定位實驗，以收集長基線斜距、GPS、運動感測器、以及 CTD 等感測資料。作業過程中，先將四支應答器以 150 m × 150 m 方形陣列方式佈放(圖 4.2)，且由潛水人員將其底碇於水深約 26 米的海底(圖 4.3)。

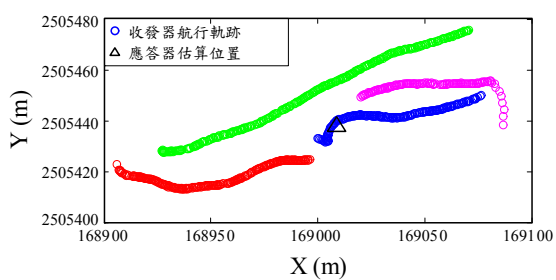
進行長基線定位量測之前，必須先定位四支應答器的位置。圖 4.4 為收發器詢答應答器斜距資料時的航行軌跡，在資料收集期間，也透過 CTD 量測來獲得水層聲速剖面，七次 CTD 量測所推算之水層聲速剖面結果如圖 4.5 所示。根據水層聲速剖面、聲學斜距量測、GPS 定位、以及運動感測器的艏向(Heading)、縱搖(Pitch)、橫擺(Roll)、起伏(Heave)資料，推算出四支應答器的絕對座標位置如表 4.2 與圖 4.6 所示，定位應答器之斜距殘差 (Slant range residual) 如圖 4.7 所示。由圖 4.7 之應答器斜距殘差可知，每支應答器的斜距殘差值標準差約在 10 cm 左右。



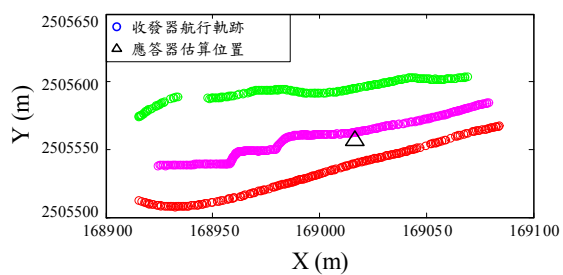
圖 4.2 佈放長基線應答器



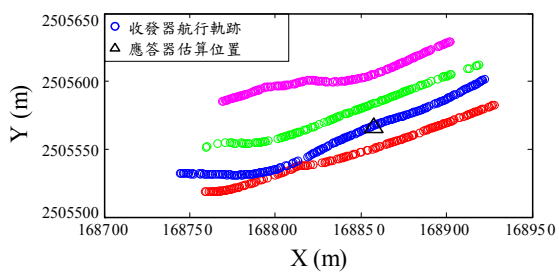
圖 4.3 潛水俠協助應答器佈放與回收



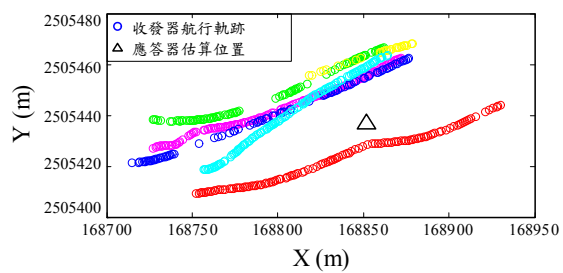
(a) 第一支應答器



(b) 第二支應答器



(c) 第三支應答器



(d) 第四支應答器

圖 4.4 收發器詢答各支應答器的航行軌跡



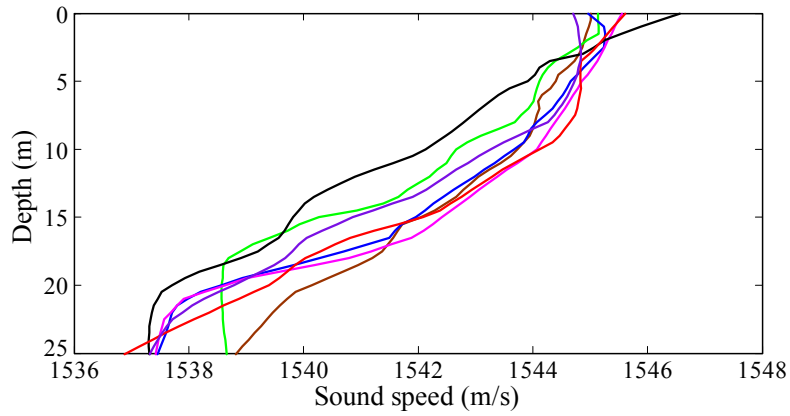


圖 4.5 CTD 量測所推算出水層聲速剖面

表 4.2 應答器座標位置

二度分帶(TM2)座標			
	X (m)	Y (m)	Z (m)
Transponder 1	169009.03	2505397.89	-24.72
Transponder 2	169015.11	2505557.88	-24.53
Transponder 3	168855.70	2505566.77	-25.16
Transponder 4	168852.28	2505390.84	-25.88

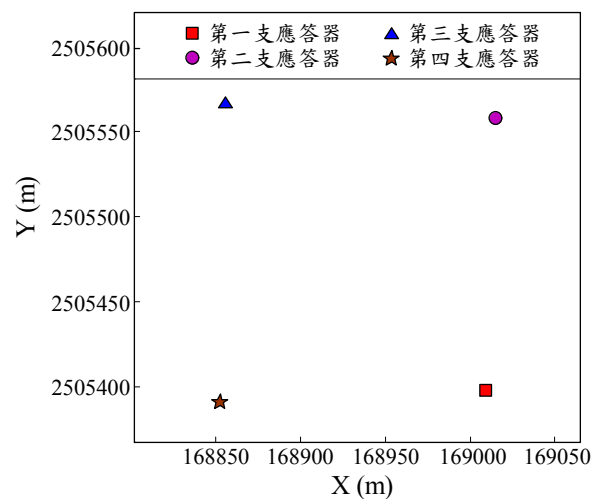


圖 4.6 四支應答器位置

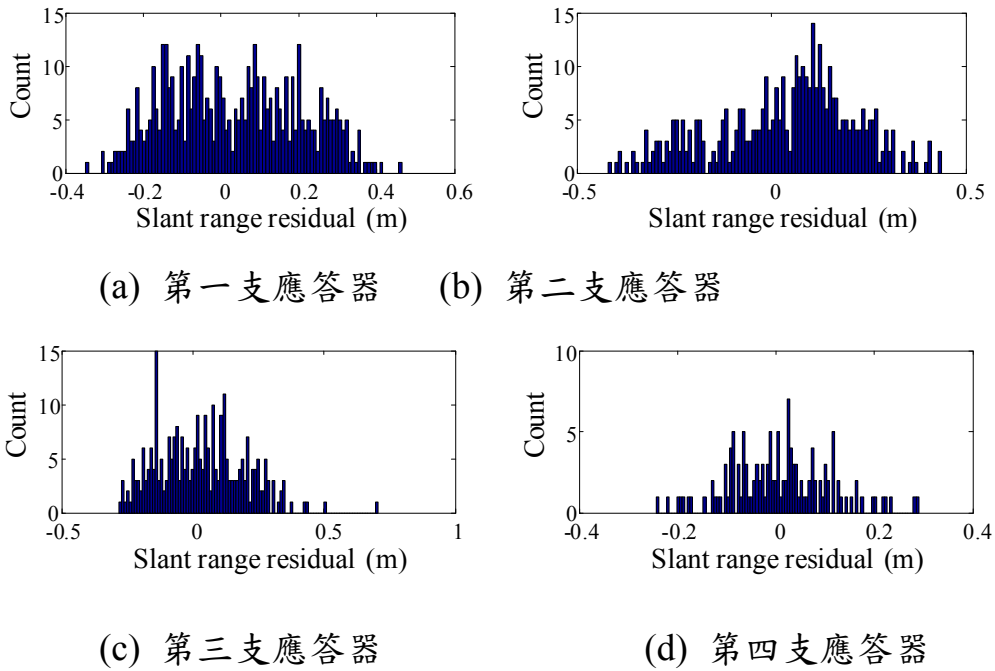
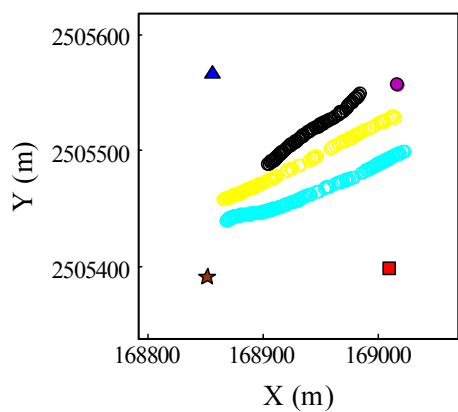
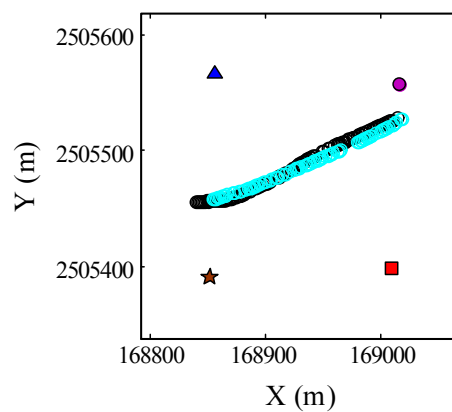


圖4.7 定位四支應答器之斜距殘差

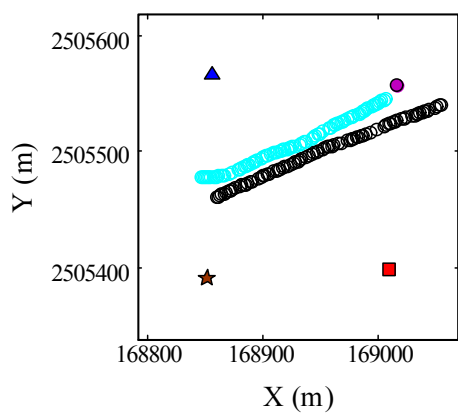
完成應答器定位估算之後，接著便進行長基線定位資料收集。由於長基線系統的定位誤差與收發器詢答間隔時間有關，所以本研究分別設定詢答時間間隔為 2、3、4、5 秒，在應答器陣列上方水面收集定位資料。由於本研究利用漁船搭載長基線收發器進行定位實驗，而漁船難以控制在低速下穩定運動，其可控制之最小穩定運動速度約在 5 節左右，與一般水下載具的作業速度(小於 3 節)相去甚遠。由於當天海流速度約在 0.6~1.1 節，因此，本研究利用船隻順著海流漂移的運動模式來收集長基線定位資料。圖 4.8 為不同詢答時間間隔(2、3、4、5 秒)下收發器對四支應答器依序詢答之航跡，其中，詢答時間間隔 2 秒的實驗共進行 3 次定位資料收集，詢答時間間隔 3 秒與 4 秒的實驗分別進行 2 次定位資料收集，詢答時間間隔 5 秒的實驗則進行 1 次定位資料收集。



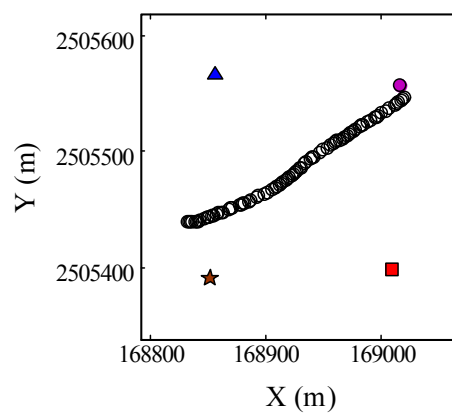
(a) 詢答時間間隔 2 秒



(b) 詢答時間間隔 3 秒



(a) 詢答時間間隔 4 秒



(b) 詢答時間間隔 5 秒

圖 4.8 長基線定位實驗之收發器詢答軌跡

### 4.3 長基線定位資料分析

取得四支應答器位置後，可利用 3.2.1 節的原理估算出以長基線定位量測的收發器位置，且將估算結果與 GPS 量測收發器位置做比較，其結果如圖 4.9~圖 4.12 所示。圖 4.9~圖 4.12 分別是詢答時間間隔 2、3、4、5 秒之長基線定位結果，由圖 4.9~圖 4.12 可看出，由於船隻漂流移動，因此收發器詢答各支答應答器的位置並不一樣，亦即各支應答器斜距的量測基準不一樣，以致於進行最小平方位位置估算時，會產生誤差。此外，在收發器連續詢答應答器過程中，收發器常因故無法收到應答器的回訊，更是造成長基線定位估算誤差的主要原因。

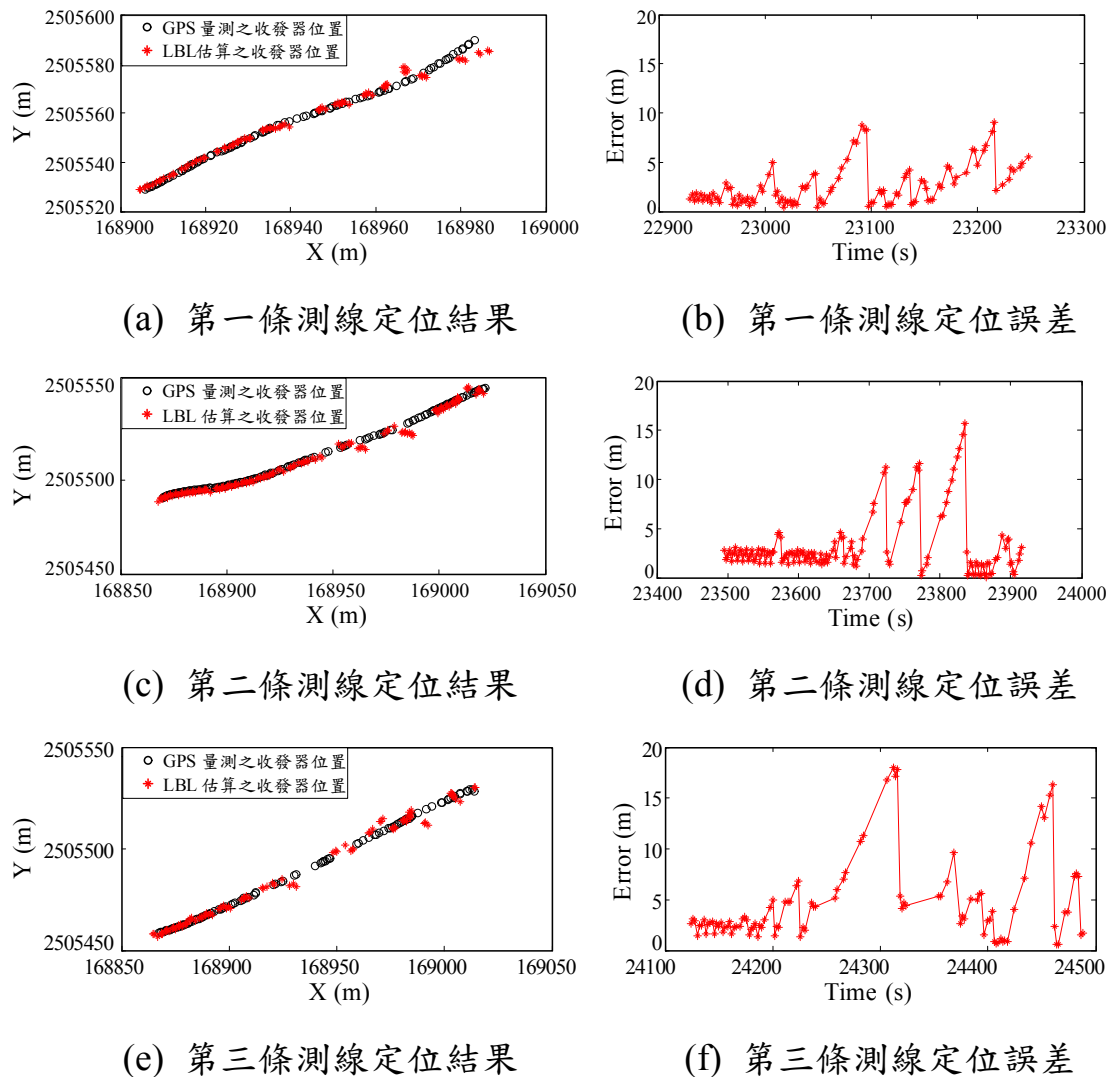
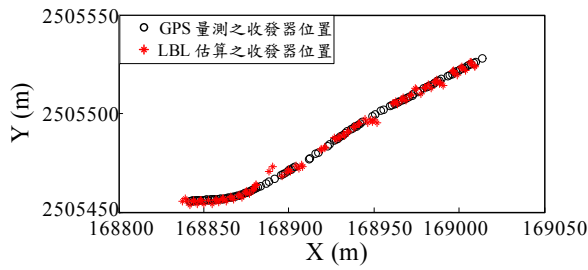
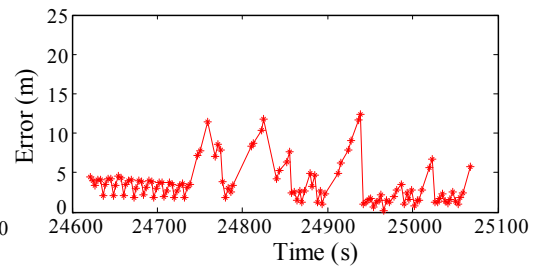


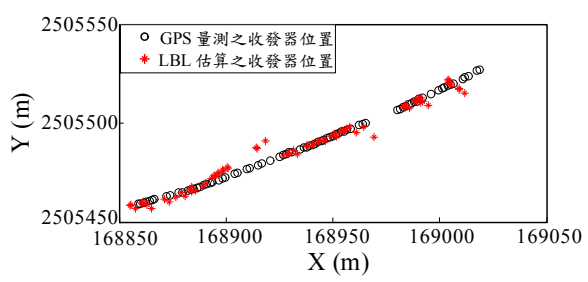
圖 4.9 詢答時間間隔 2 秒之長基線定位結果與定位誤差



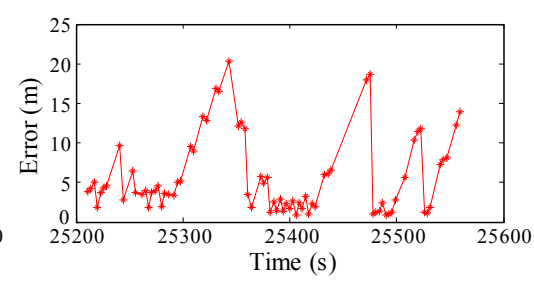
(a) 第一條測線定位結果



(b) 第一條測線定位誤差

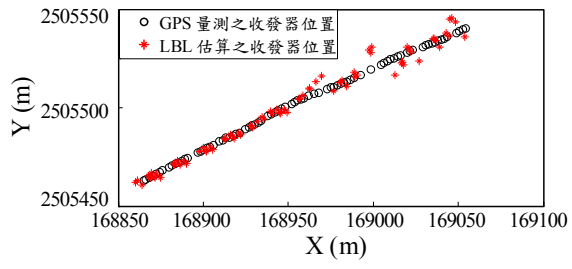


(c) 第二條測線定位結果

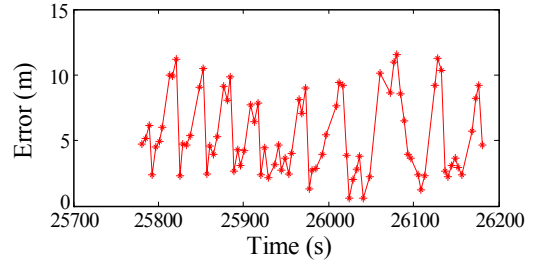


(d) 第二條測線定位誤差

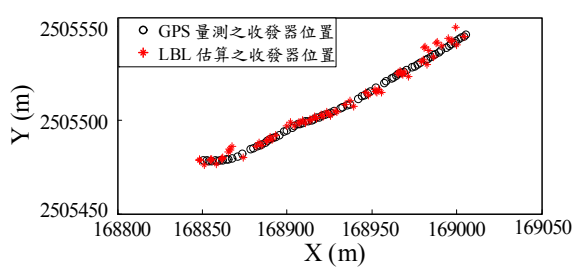
圖 4.10 詢答時間間隔 3 秒原始定位誤差



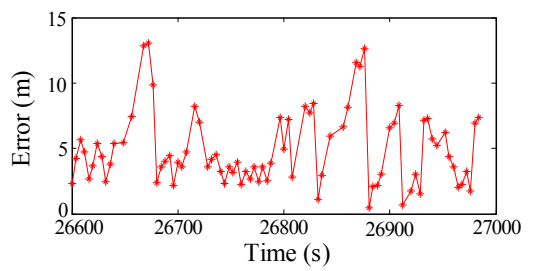
(a) 第一條測線定位結果



(b) 第一條測線定位誤差

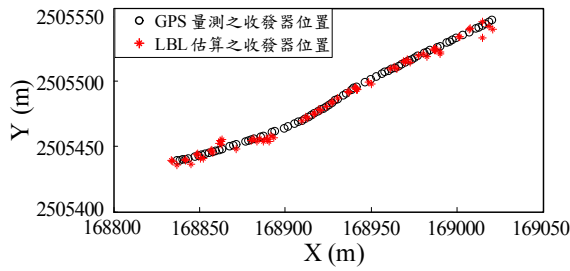


(c) 第二條測線定位結果

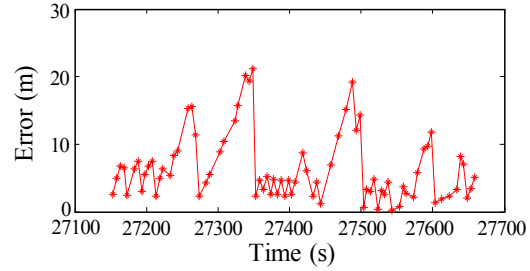


(d) 第二條測線定位誤差

圖 4.11 詢答時間間隔 4 秒原始定位誤差



(a) 第一條測線定位結果



(b) 第一條測線定位誤差

圖 4.12 詢答時間間隔 5 秒原始定位誤差

由圖 4.9~圖 4.12 的定位結果可以看出，長基線定位誤差的主要來源在於無法連續收到應答器的詢答回訊。為了改善應答器中斷回訊所造成的定位誤差，可以設法從相關感測資料去預測收發器詢答各支應答器的絕對位置。例如，水下載具如果裝設都卜勒流速計 (Doppler Velocity Log; DVL)，便可以取得水下載具在絕對座標下 X 方向的速度 ( $u$ ) 和 Y 方向的速度 ( $v$ )，此一資料便能用來預測應答器的位置，其流程如圖 4.13 所示。從圖 4.13 可知，如果長基線收發器沒有收到應答器的回訊，便直接透過速度感測資料來預測收發器的位置  $P_i$ ：

$$P_i = P_{i-1} + \Delta t_i \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \end{bmatrix} \quad (9)$$

一旦長基線收發器收到應答器的回訊，便利用預測的收發器位置重新計算收發器與每支應答器的斜距，再由最小平方法估算出收發器的位置。在這次長基線定位實驗中，由於搭載收發器的船隻並未裝設量測速度之感測器，因此，本研究由 GPS 量測到的收發器座標，透過數值方法推算出收發器在絕對座標系統下的移動速度  $u$  和  $v$ ，並根據圖 4.13 的流程來估算收發器的位置，其定位估算結果如圖 4.14~圖 4.17 所示。由圖 4.14~圖 4.17 可以清楚看出，利用速度感測資料輔助預測收發器位置並重新修正斜距後，可以大幅改善收發器的定位誤差。由此可知，水下載具若僅靠長基線系統來定位，極可能因為無法連續收到應答器的詢答回訊，而造成極大的定位誤差。因此，長基線定位系統

必須整合其他感測器（例如 DVL、INS），透過感測資料融合的方式來改善長基線定位精度。

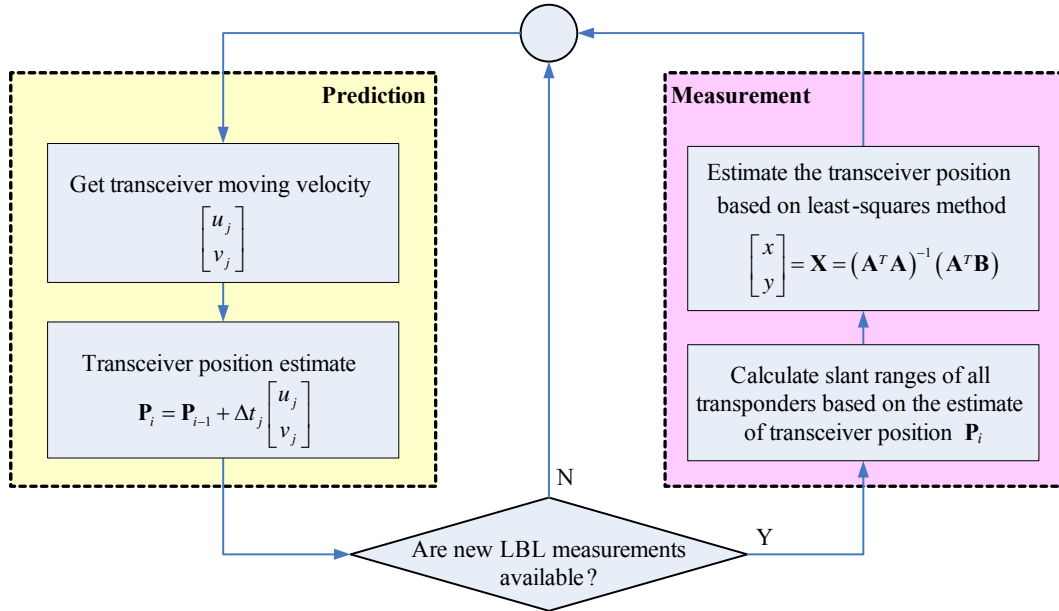
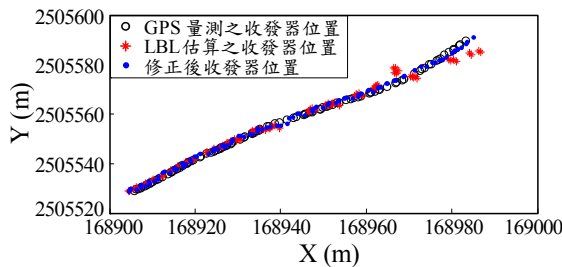
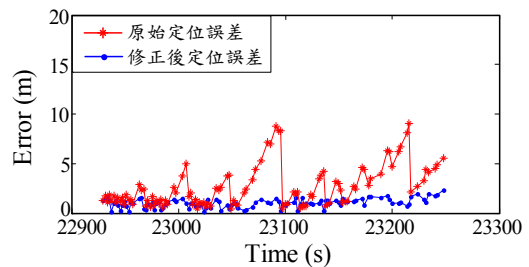


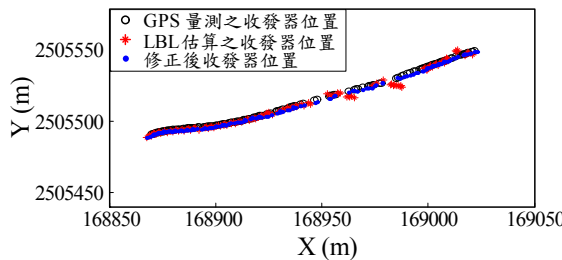
圖 4.13 藉由速度感測資料預測收發器位置以改善長基線定位誤差



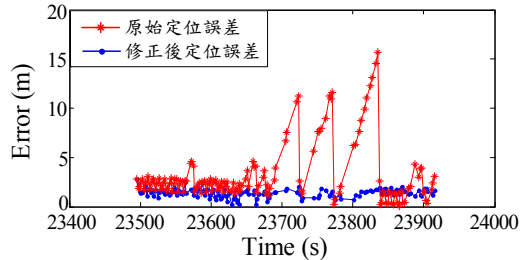
(a) 第一條測線定位結果



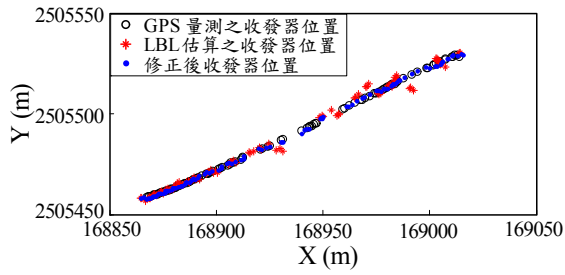
(b) 第一條測線定位誤差



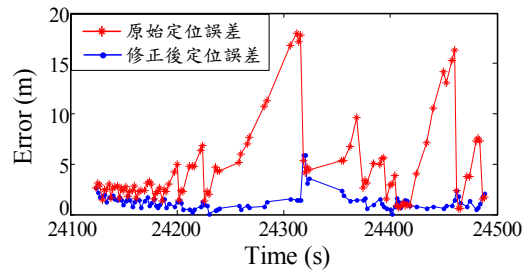
(c) 第二條測線定位結果



(d) 第二條測線定位誤差

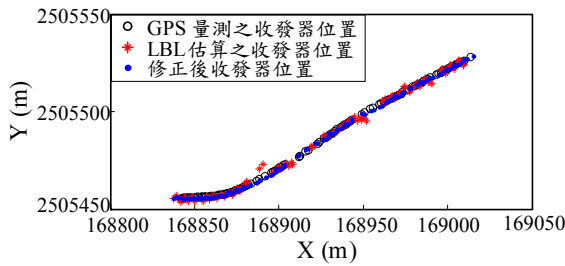


(e) 第三條測線定位結果

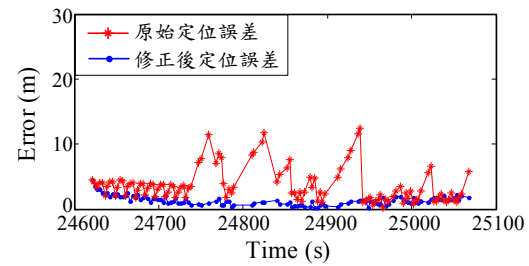


(f) 第三條測線定位誤差

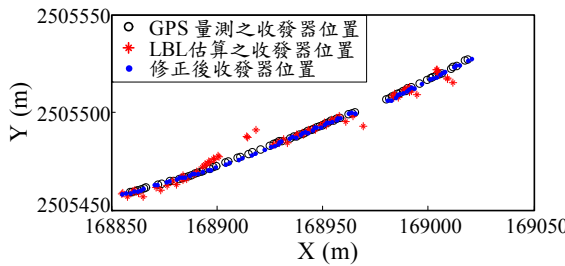
圖 4.14 利用橫向與縱向的速度修正後與原始定位誤差比較(詢答時間  
間隔 2 秒)



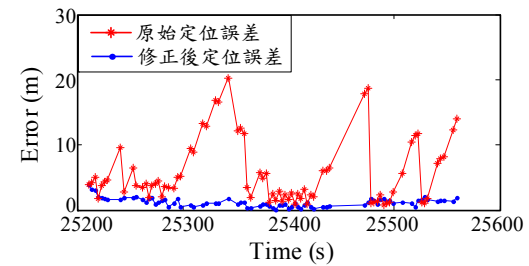
(a) 第一條測線定位結果



(b) 第一條測線定位誤差



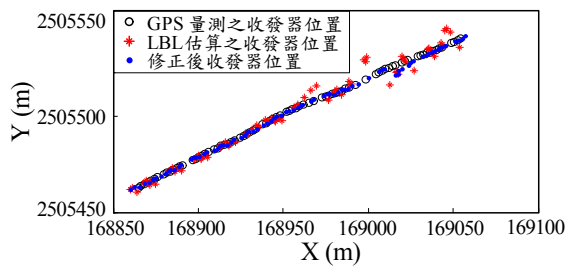
(c) 第二條測線定位結果



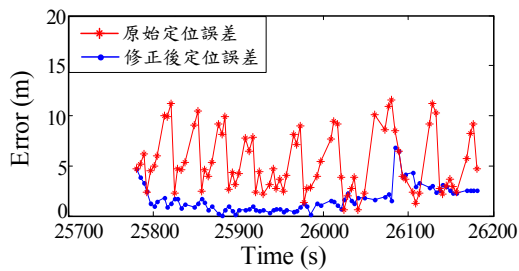
(d) 第二條測線定位誤差

圖 4.15 利用橫向與縱向的速度修正後與原始定位誤差比較(詢答時間  
間隔 3 秒)

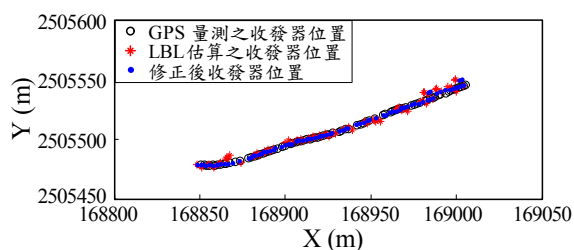




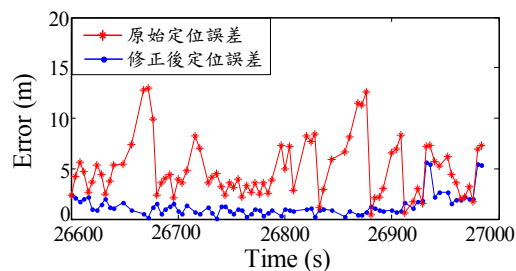
(a) 第一條測線定位結果



(b) 第一條測線定位誤差

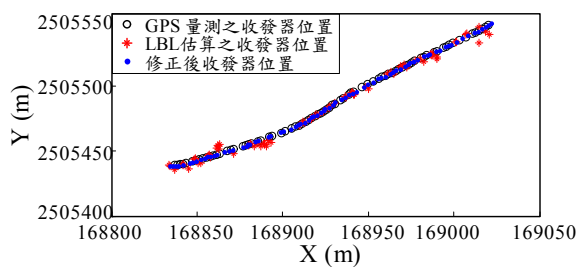


(c) 第二條測線定位結果

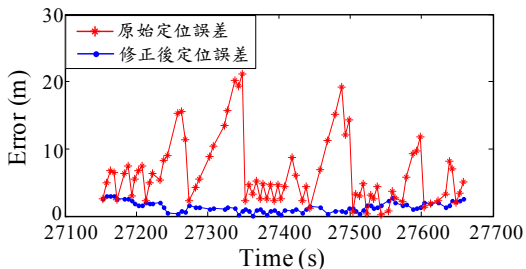


(d) 第二條測線定位誤差

圖 4.16 利用橫向與縱向的速度修正後與原始定位誤差比較(詢答時間  
間隔 4 秒)



(a) 第一條測線定位結果



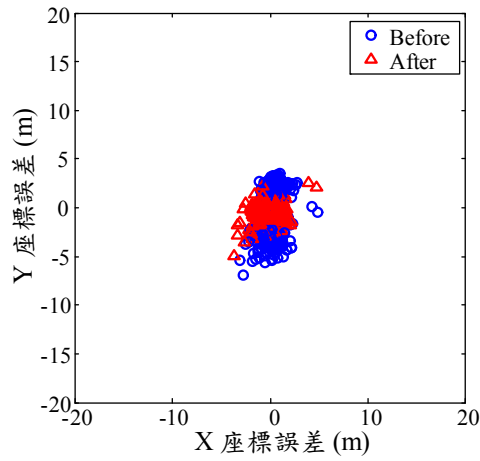
(b) 第一條測線定位誤差

圖 4.17 利用橫向與縱向的速度修正後與原始定位誤差比較(詢答時間  
間隔 5 秒)

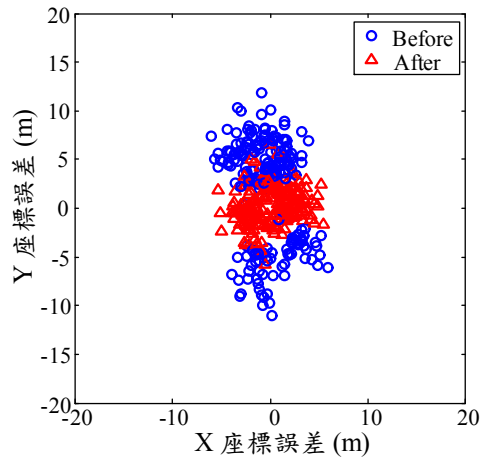
#### 4.4 長基線與超短基線定位精度比較

在第一年研究計畫中，我們探討了超短基線系統之定位精度。由於超短基系定位誤差的主要來源之一是感測器對準偏差，因此，前一年計畫利用感測器對準偏差校正方法，改善超短基線定位精度，其結果如圖 4.18所示。不過，超短基線定位精度與水深、半錐角（Half cone angle）有絕對關係。由圖 4.19可以看出，定位精度隨著水深增加而變差。此外，隨著半錐角增大，定位精度也跟著變大；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，一旦半錐角達到 60 度，在 110 公尺的作業水深下，其定位誤差達到 3.5 公尺左右。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，不過這同時也限縮了水下載具的作業範圍。

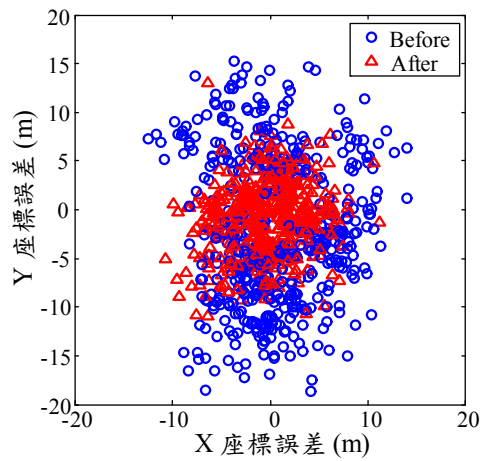
由於長基線應答器錨碇於海床上，因此長基線定位誤差基本上並不受作業水深影響。但長基線定位精度會受收發器詢答時間間隔與載具速度影響，一旦收發器詢答間隔時間越長、船速越快（亦即收發器詢答間隔位移量越大），長基線系統的定位誤差便會越大。此外，長基線定位誤差的另一個主要原因，在於無法連續收到應答器的詢答回訊。因此，本研究整合載具速度量測資訊，有效改善長基線定位誤差，而根據圖 4.14~圖 4.17的修正結果，長基線定位誤差可控制在 1~1.5 公尺左右，如圖 4.20所示。因此，利用長基線進行水下載具定位時，應儘量縮短收發器詢答間隔位移量、避免聲訊遮蔽以免無法收到應答器回訊，並融合其他感測資訊，如此便可以有效降低定位誤差。



(a) 水深 32 m

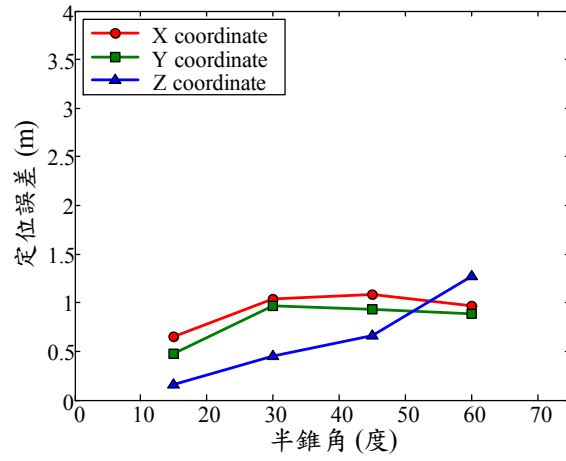


(b) 水深 76 m

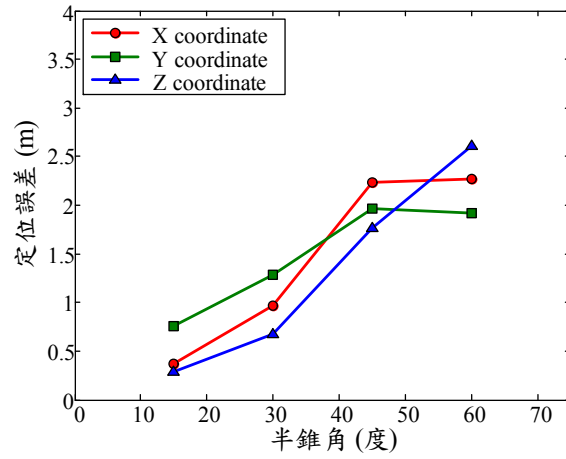


(c) 水深 110 m

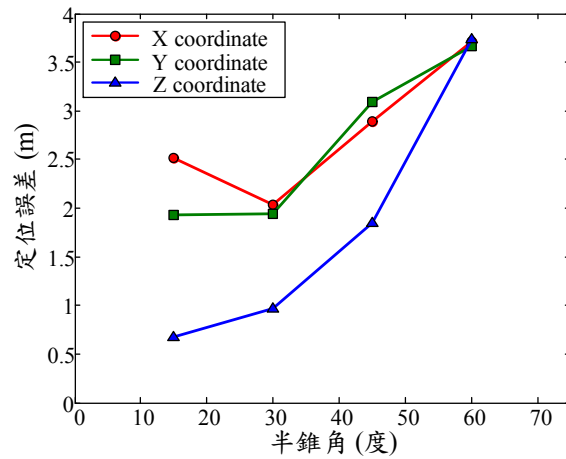
圖 4.18 感測器對準偏差校正前後之超短基線定位誤差



(a) 水深 32 m 的定位誤差( $1\sigma$ )



(b) 水深 76 m 的定位誤差( $1\sigma$ )



(c) 水深 110 m 的定位誤差( $1\sigma$ )

圖 4.19 超短基線定位誤差隨半錐角增加而變大

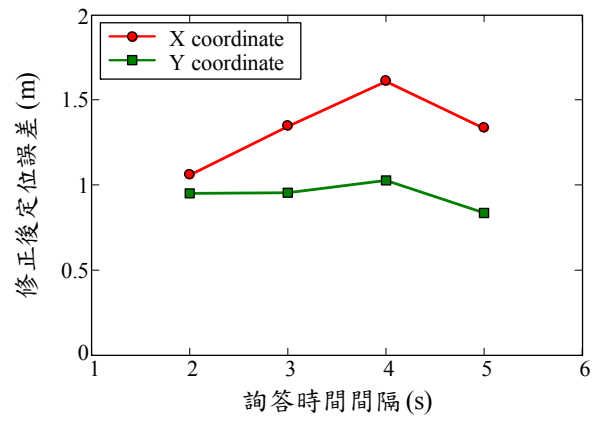


圖 4.20 修正後之長基線 X 座標與 Y 座標定位誤差

## 第五章 結論與建議

### 5.1 結 論

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 1 公尺,PP 0.5 公尺)，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 1~1.5 公尺左右。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。

## 5.2 建議

1. 本研究案例在對於水下垂直結構物量測時，若採用 RTK 時的水平位置偏差量達到 1 公尺，而採用 PP 時之水平位置偏差量達到 0.5 公尺，仍有研究改進空間。
2. 長基線定位資料之測量驗證中，改善定位誤差方法分為軟硬體方面。在軟體方面，收發器的位置估算是改善水下定位精度的主要方法。在硬體方面，本研究採用之長基線收發器，每次只能詢答單支應答器，若改採可以同時詢答多支應答器的收發器，便可改善長基線定位誤差。
3. 本研究在未來會整合 DVL 的速度量測資料，利用載具速度量測資訊來來估算 Transceiver 位置，以提高載具定位估算的精度。而要整合收發器、都卜勒流速計(DVL)、多音束測深儀、以及運動感測器於水下載具上，必須考量水下載具之荷重(Payload)能力。目前除了國家實驗研究院台灣海洋研究中心正在採購的 3000 米 ROV 可以符合之外，國內並無適合的水下載具可以搭載這些儀器。本研究未來會將收發器、DVL、多音束測深儀、以及運動感測器裝置於水下平台上(類似 depressor)，利用研究船拖行水下平台移動以模擬水下載具作業。

## 參考文獻

1. International Hydrographic Organization, 2010, Manual on Hydrography, 1th Edition (Corrections to April 2010), Publication C-13.
2. International Hydrographic Organization, February 2008, IHO Standards for Hydrographic Surveys, 5th Edition, Special Publication No. 44.
3. International Hydrographic Organization, Nov 2001, IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data, 3.1th Edition, Special Publication No. 57.
4. International Hydrographic Organization, 1982, A Manual on Technical Aspects of the United Nations Convention on the Law of the Sea.
5. Canadian Hydrographic Services, Aug 1998, Standards for Hydrographic Surveys.
6. Canadian Hydrographic Services, Feb 2003, Minimum Standards for Hydrographic Surveys.
7. Federal Geographic Data Committee, June 2001, Shoreline Metadata Profile of the Content Standards for Digital Geospatial Metadata.
8. Federal Geographic Data Committee, June 1998, Content Standards for Digital Geospatial Metadata.
9. U.S. Army Corps of Engineers, Sept 1987, Confined Disposal of Dredged Material.
10. U.S. Army Corps of Engineers, Mar 1983, Dredging and Dredged Material Disposal.
11. U.S. Army Corps of Engineers, Nov 1996, Navigation and Dredging Operations and Maintenance Guidance and Procedures.
12. U.S. Army Corps of Engineers, Jan 2002, Engineering and Design Hydrographic Surveying.
13. U.S. Army Corps of Engineers, Jul 1998, Engineering and Design Geospatial Data and Systems.
14. U.S. Army Corps of Engineers, Aug 1996, Engineering and Design Policies, Guidance, and Requirements for Geospatial Data and Systems.
15. National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), 1997, Nautical Chart User's Manual.



16. National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), Jun 2000, NOS Hydrographic Surveys Specifications and Deliverables.
17. National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), April 2007, NOS Hydrographic Surveys Specifications and Deliverables.
18. National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), March 2007, Field Procedures Manual.
19. Land Information New Zealand, Aug 1999, Provisional Swath Sonar Survey Specifications.
20. Godin, A., 1996, Field Procedures for the Calibration of Multibeam Echo-sounding system(Applied to simrad MBES and HIPS post-processing s/w).
21. 日本海上保安廳，2002，日本水路測量各等級測量規則。
22. 薛憲文，1997，應用測量學講義。
23. 公共工程委員會，2000，港灣工程施工綱要規範。
24. 內政部，2003，領海及鄰接區海域基本圖測量規範(草案)。
25. 交通部運研所，2003，港灣水域水深測量(草案)。
26. 交通部運研所，2005，淺水域多音束量測水深技術研究(1/4)。
27. 交通部運研所，2006，淺水域多音束量測水深技術研究(2/4)。
28. 交通部運研所，2007，淺水域多音束量測水深技術研究(3/4)。
29. 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

計畫編號： MOTC-IOT-99-H2DB007

計畫名稱：以水下自動化載具進行多音束測深之研究(2/4)

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
<p>方志中 教授：</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：               <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 定位程式分析。</li> <li>➢ 定位模式優缺點分析。</li> <li>➢ 多音速聲納足印尺寸分析。</li> </ul> </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>黃明志 教授</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>劉景毅 組長：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. 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化載具的介紹，例如 ROV、AUV 的</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>說明。現有的水下定位如何進行使用短基或長基定位？</p> <p>3.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>4.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>余進利 組長：</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，建議補充。</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>	
<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> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 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。</li> <li>➢ p15 之圖 6 增加中文說明。</li> <li>➢ 部份專有名詞，請增加</li> </ul>	<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> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照委員意見辦理。</li> <li>2. 遵照委員意見增加中文說明。</li> <li>3. 遵照委員意見辦理。</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>中文說明。</p> <p>➤ p34之內文與表8之對照修正。</p> <p>3.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>4. 遵照委員意見辦理，修正 P34 內文。</p> <p>3. 遵照委員意見辦理，期末報告中補充。</p>	

## 附錄二 期末報告審查意見處理情形表

計畫編號： MOTC-IOT-99-H2DB007

計畫名稱：以水下自動化載具進行多音束測深之研究(2/4)

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
<p>方志中 教授：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. RTK 及 PP 模式對多音速測深儀的精度比較均以水面船作分析，未來如何應用至水下載具？</li> <li>2. 長基線收發器之安裝，是否有限制需要(潛水伏?)，(水深、地質、流速…)未來如何應用至實際量測工作(安裝、回收等作業…)。</li> <li>3. 收發器及多音束測深儀之重量是否等符合水下載具之載重規格，是否已有假想之水下載具規格。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 水下定位系統所獲得的定位資料都是採用相對坐標系統，轉換絕對坐標系統皆需應用水面定位模式。</li> <li>2. 長基線系統應用於水下載具作業時，須先將收發器安裝於船底來定出四支應答器的位置。完成應答器定位後，再將收發器安裝於水下載具上，以進行載具之定位。應答器佈放之前，必須將應答器安裝於固定架上，並整合浮力設計、配重設計、耐壓設計、以及聲學釋放儀，便可將應答器佈放至作業水深之海底。完成定位作業後，只要啟動聲學釋放儀以釋放配重，待應答器上浮至水面後便可回收。佈放應答器時，需避開鬆軟底質之海床，以免發生應答器沈陷的危險。由於本研究作業水深約 30 米，在考慮成本與作業風險下，僅利用潛水伏將應答器底定於海底。</li> <li>3. 要整合收發器、都卜勒流速計(DVL)、多音束測深儀、以及運動感測器於水下載具上，必須考量水下載具之荷重(Payload)能力。目前除了國家實驗研究院台灣海洋研究中心正在採購的</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
	3000 米 ROV 可以符合之外，國內並無適合的水下載具可以搭載這些儀器。本研究未來會將收發器、DVL、多音束測深儀、以及運動感測器裝置於水下平台上(類似 depressor)，利用研究船拖行水下平台移動以模擬水下載具作業。	
<p>黃明志 教授</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已完成衛星即時動態定位與後期處理模式應用在多音束測深系統之精度探討、長基線系統之水下定位精度探討二大工作項目，符合計畫內容進度。</li> <li>2. 期中報告委員意見已在期末報告內修正增補，容內充實完整。</li> <li>3. 長基線定位改善主要利用載具速度量測資訊來來估算 Transceiver 位置，本實驗尚未實際使用水下載具，往後應驗 IE DVL 在水下載具狀況下之定位改善。</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. 本研究未來會整合 DVL 的速度量測資料，以提高載具定位估算的精度。</li> </ol>	
<p>李良輝 教授：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究探討長基線水下定位系統 精度並開發其導航介面，研究深度足夠，方法嚴謹，程序完整，成果且有未來應用之參考。</li> <li>2. 全文之上頁標題請修正為「期末報告書」計畫編號改為 99。</li> <li>3. AGPS 有無可能替代 RTK 之定位。</li> <li>4. 水平位置 RTK 有 1 公尺偏差，PP 為 0.5mm，其具體原因為何?如何改善?</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員肯定。</li> <li>2. 遵照委員意見辦理。</li> <li>3. 科技日新月異，新的定位方法及原理有可能獲得較高的定位精度而取代 RTK 模式，AGPS 是其中一種可能性。</li> <li>4. 本研究案定位精度分析著重在定位模式、音束足印及率定偏差量三個項目，尚未對 TPU 作全面性的評</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
	估，其主因應是單一誤差源擴散與率定的誤差相乘效應的結果，可從理論上的數值模擬推敲各種誤差源特性，並增加率定項目的檢測以降低關鍵誤差總量。	
<p>何良勝 科長：</p> <p>1.報告內容修正之處：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 請依本所出版品規定，辦理報告修正稿。</li> <li>➢ 第五章章名修正為「結論與建議」。</li> </ul> <p>2.有關 2.5.3 節之疊合率定測量僅次貨櫃作為驗證，建議後續工作能增加其他之驗證成果。</p> <p>3.2.6 節中有關 RTK 與 PP 之比較，兩者有何差異?如何分別使用?可否提供更可行之具體方式?</p> <p>4.有關長基線定位資料之測量驗證中相關改善方法除由藉用輔助預測收發處外，是否有其他方式?</p>	<p>1. 遵照委員意見辦理，排版方式遵照貴所出版品規定，並將第五章修正為「結論與建議」。</p> <p>2. 參照委員意見辦理，儘可能增加其它特徵物的疊合率定驗證。</p> <p>3. 二者大致可以時效性及精準度區分，以疏浚作業為例，RTK 的即時性適用現場判斷是否已浚挖至設計水深，PP 則可提供誤差較小的土方計量量測。</p> <p>4. 在軟體方面，收發器的位置估算是改善水下定位精度的主要方法。在硬體方面，本研究採用之長基線收發器，每次只能詢答單支應答器，若改採可以同時詢答多支應答器的收發器，便可改善長基線定位誤差。</p>	

## 附錄三期中簡報資料

交通部運輸研究所港研中心  
以水下自動化載具進行多音束測深之研究(2/4)

期中報告簡報

國立中山大學

簡報日期：99年7月14日

簡報內容

- 壹 計畫背景分析
- 貳 研究內容及工作項目
- 參 專案時程及執行進度
- 肆 研究成果說明
- 伍 結論及未來工作

1、計畫背景分析(1)

- 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，目前音束寬度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。

1、計畫背景分析(2)

- 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。

2-1、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

2-2、四年工作計畫內容

第一年	進行多音束測深系統與載具之水下定位系統之開發，探討多音束測深系統與載具水下定位系統之開發，開發水下定位系統之研究。
第二年	以提升水質及水下定位為主軸，探討多音束測深系統之水下定位系統開發及相關技術之開發 (RTK) 與後處理 (Post-Processing) 模式應用在多音束測深系統之開發，另外配合與載具水下定位系統等開發。
第三年	以多音束測深資料之融合技術之開發為主軸，探討水下多音束測深系統各組測深資料之融合處理、水下多音束測深之資料處理技術，及與載具水下定位之多音束測深資料之融合技術之開發。
第四年	以多音束測深資料 2D 及 3D 之顯示技術之開發為主軸，探討多音束測深資料與載具測深資料之融合等相關技術研究，及與載具水下定位之多音束測深資料之融合之應用。



### 2-3、本年度工作項目

**A**


**B**

**C**

長基線系統之水下定位精度探討。

長基線水下定位系統之界面開發。

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探討。





### 3-2、工作進度說明

工作項目	預定進度	實際進度	備註
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探討	80%	100%	
長基線水下定位系統之介面開發	80%	100%	
撰寫期中報告	100%	100%	
長基線水下定位系統之精度探討	0%	0%	
撰寫期末報告	0%	0%	



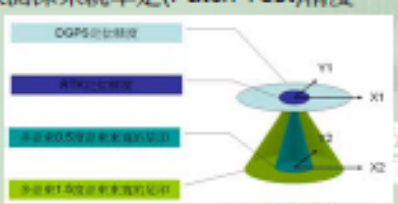

### 4、研究成果說明

- 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探討
- 長基線水下定位系統之介面開發



### 4-1、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探討

- 衛星定位模式及定位精度
- 多音束聲納的足印(Footprint)尺寸
- 多音束測深系統率定(Patch Test)精度

### 4-2、衛星定位模式及定位精度

全球導航衛星系統  
(Global Navigation Satellite System, GNSS)  
美國 GPS + 蘇聯 GLONASS + 歐盟 GALILEO



- GPS導航定位精度
- DGPS定位精度
- RTK定位精度



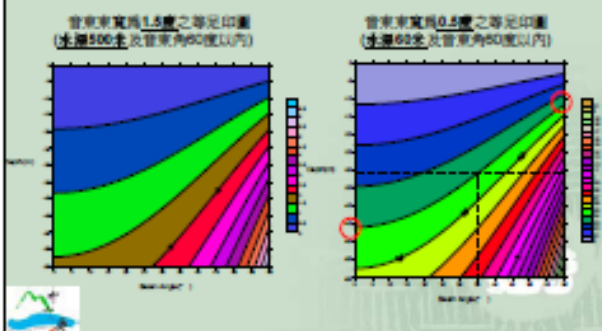
### 4-3、衛星定位模式比較

	星方式定位GPS	即時動態差分RTK	量測精度
IRACON	免費	XX	3公尺以內
SWA (SWARMING SWA系統)	免費	XX	3公尺以內
PLIBO	約1000元/天	約3000元/天	軌跡精度可達10公分
自行架站，使用無線電傳遞差分訊號	免費	免費	DDPR: 3公尺以內 RTK: 軌跡精度可達10公分
自行架站，使用GSM傳遞差分訊號	使用GSM服務收費標準	使用GSM服務收費標準	DDPR: 3公尺以內 RTK: 軌跡精度可達10公分
使用圖上傳輸中心uGPS	GSM服務收費標準+GPS收費標準	GSM服務收費標準+GPS收費標準	DDPR: 3公尺以內 RTK: 軌跡精度可達10公分

### 4-4、衛星定位模式優缺點

	優點	缺點	備註
IRACON	免費	設備的靈敏度低且受限，測量是即時但精度低	設備是即時，但精度非即時測量等級
SWA (SWARMING SWA系統)	免費	RTK在戶外環境中，以目前仍面臨訊號干擾	SWA是以無線電傳遞差分訊號，以改善訊號的穩定性
PLIBO	衛星服務收費標準	使用在戶外中，衛星是即時測量，但精度可達到RTK量測的精度	PLIBO是即時動態差分訊號，使用GSM傳遞差分訊號
自行架站，使用無線電傳遞差分訊號	免費，可控制基站的訊號干擾	設備是即時動態差分訊號，但精度可達到RTK量測的精度	
自行架站，使用GSM傳遞差分訊號	GSM服務收費標準，但設備是即時動態差分訊號，精度可達到RTK量測的精度	使用GSM服務收費標準，但精度可達到RTK量測的精度	uGPS是即時動態差分訊號，使用GSM傳遞差分訊號
使用圖上傳輸中心uGPS	GSM服務收費標準，但設備是即時動態差分訊號，精度可達到RTK量測的精度	使用GSM服務收費標準，但精度可達到RTK量測的精度	uGPS是即時動態差分訊號，使用GSM傳遞差分訊號

### 4-5、多音束聲納的足印(Footprint)尺寸

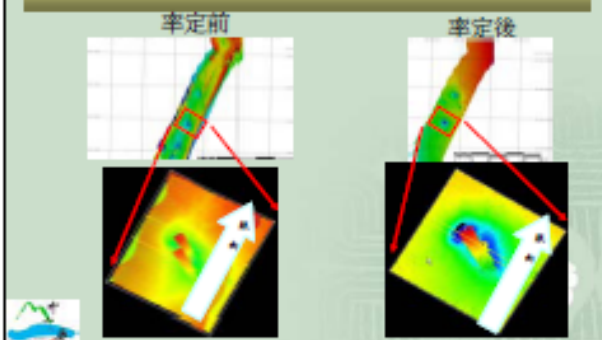


### 4-6、多音束測深系統率定(Patch Test)精度

- 理論上率定求得的參數是音鼓與三軸的偏置角度，以及定位與測深的時間差，但實務上融合了各項誤差值的綜合體，因為率定的基本概念是找出上述四個參數，使疊合測量的誤差成果最小。



### 4-7、多音束測深系統率定(Patch Test)精度



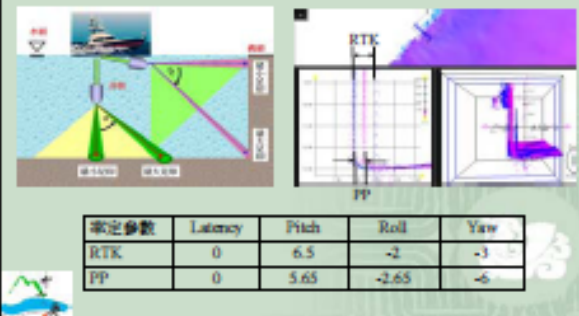
### 4-8、即時動態定位及後期處理的比較

	即時動態定位(RTK)	後期處理(PP)
時效性	即時快速	非即時，需要額外處理時間
精度	可快速獲得高精度	可獲得較穩定且高精度
穩定性	傳輸訊號可能受到干擾而產生跳點現象	類似GPS靜態(Static)測量，不需要額外通訊機制
其它	基站的選擇與成果品質關聯性高	需要大量儲存記憶體

#### 4-9、即時動態差分定位及後期處理的比較



#### 4-10、RTK & PP量測水下垂直結構物的差異



#### 4-11、長基線定位實驗

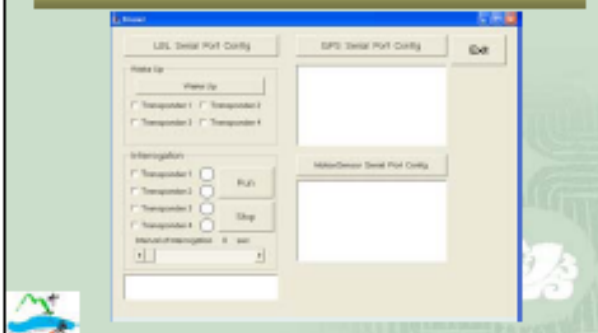
- 目的：驗證長基線系統之定位精度。
- 作法：
  - 將收發器安裝在船隻底部進行定位實驗，透過長基線定位方法量測收發器的位置  $P_{LBL}$ 。
  - 船上同時架設GPS與運動感測器，透過GPS與船體姿態估算收發器的位置  $P_{GPS}$ 。
  - 藉由比對  $P_{LBL}$  與  $P_{GPS}$ ，探討長基線系統的定位精確度。

#### 4-12、長基線定位(LBL)系統



LinkQuest Inc. LBL PinPoint 1500

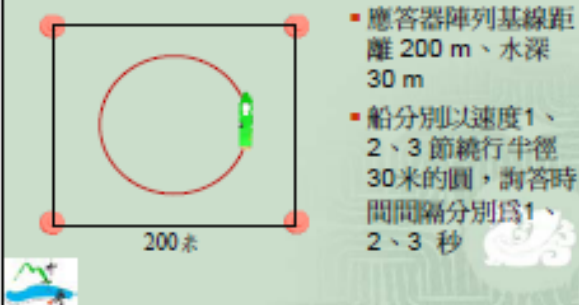
#### 4-13、定位系統資料接收介面



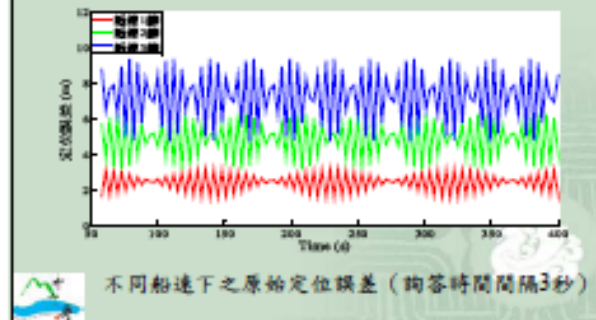
#### 4-14、定位系統資料接收介面

- 此介面包含了長基線定位系統、GPS、以及運動感測器的通訊設定功能。
- 長基線定位作業之前，必須先喚醒應答器。此定位資料接收介面包含Wake Up功能，可以選擇喚醒特定應答器。
- 擷取定位資料時，收發器必須連續發送應答器，才能量得收發器與應答器之間的斜距。而實際海域作業時，詢答時間與水深與應答器水深有關，因此本介面包含詢答時間間隔設定功能，因應不同水深之定位量測。

#### 4-15、數值模擬



#### 4-16、數值模擬

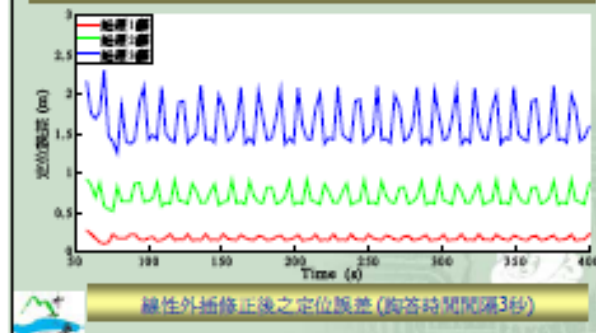


#### 4-17、數值模擬

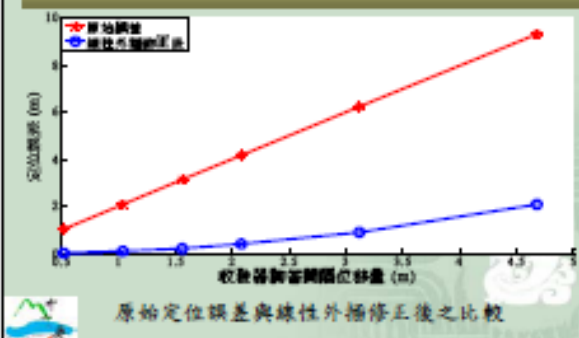
- 由於定位誤差隨著船速增快而增大，其原因是四個應答器的詢答點不在同一位置。因此收發器詢答時的位移偏差越大，定位誤差就會越大。
- 為了改善定位誤差，利用前兩次收發器定位估算的結果  $P_{i-2}$  與  $P_{i-1}$ ，透過線性外插法來預測現時收發器的位置  $P_i$ 。

$$\frac{P_i - P_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} = \frac{P_{i-1} - P_{i-2}}{t_{i-1} - t_{i-2}}$$

#### 4-18、數值模擬



#### 4-19、數值模擬



#### 5-1、期中結論

- 定位精度、足印尺寸及率定作業為多音束測深系統影響測量精度的三項關鍵因子。
- 定位誤差會被率定參數吸收，而率定參數的偏差會將誤差擴散至全部測線。
- 後測處理 (PP) 定位模式可獲得較即時動態定位 (RTK) 較穩定的定位精度，對於水下特徵物搜尋探測、水下人工結構物測繪或小型目標的判視提供另一種的定位模式的選擇。

## 5-2 未來工作

- 進行長基線系統之定位精度實驗及資料分析





## 附錄四 期末簡報資料

交通部運輸研究所港研中心  
以水下自動化載具進行多音束測深之研究  
(2/4)

期末報告簡報

報告者：陳信宏  
國立中山大學  
海下科技暨應用海洋物理研究所  
99年11月18日

### 簡報內容

- 壹 前言
- 貳 RTK及PP定位模式應用在多音束測深系統之精度探討
- 參 長基線水下定位系統之導航介面開發
- 肆 長基線系統之水下定位精度探討
- 伍 結論及未來工作

### 1-1、計畫背景分析(1)

- 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
- 要進一步縮小足印的方法，唯有縮短音鼓至目標物的距離，也就是將多音束音鼓安裝至水下載具。但國內尚無此種解決方式之案例。

### 1-1、計畫背景分析(2)

- 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有迫切的需求。
- 目前國內對於水下載具開發已經漸有成績，在客觀環境上已經允許進行水下載具之多音束測深整合研究。

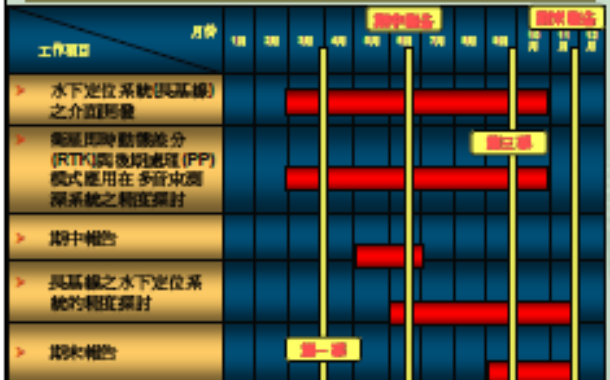
### 1-2、四年工作計畫內容

第一年	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 超短基線系統水下定位精度探討。</li> <li>• 多音束測深系統與水下載具三維坐標之精度探討。</li> <li>• 開發水下載具定位介面。</li> </ul>
第二年	<p>以提升水面及水下精度為主軸，探討：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 長基線系統之水下定位精度探討。</li> <li>• 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探討。</li> <li>• 配合長基線水下定位系統開發水下載具導航介面。</li> </ul>
第三年	<p>以多音束測深資料之整合技術研發為主軸，探討：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 水下多音束測深系統各層測深資料之同步收訊。</li> <li>• 水下多音束測深之資料處理技術。</li> <li>• 船艙與水下載具之多音束測深之多重解算度資料之整合技術。</li> </ul>
第四年	<p>以多重解算度資料2D及3D之顯示技術研發為主軸，探討：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 多音束測深資料與側掃聲納資料之整合技術研究。</li> <li>• 船艙與水下載具之多音束測深效果整合應用。</li> </ul>

### 1-3、本年度工作項目

- A 衛星即時動態 (RTK)定位與後期處理(Post-Processing)模式應用在多音束測深之精度探討。
- B 長基線水下定位系統之導航介面開發。
- C 長基線系統之水下定位精度探討。

### 1-4、預定工作與執行進度

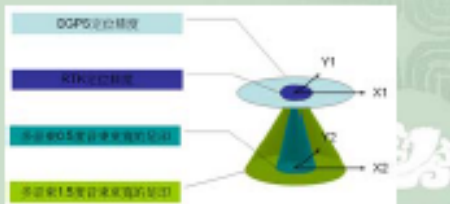


### 1-5、工作進度說明

工作項目	預定進度	實際進度
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探討	100%	100%
長基線水下定位系統之介面開發	100%	100%
撰寫期中報告	100%	100%
長基線水下定位系統的精度探討	100%	100%
撰寫期末報告	100%	100%

### 2-1、影響多音束測深精度主要因子

- 多音束聲納的足印(Footprint)尺寸
- 多音束測深系統疊合率定(Patch Test)精度
- 衛星定位模式及定位精度



### 2-2、單音束聲納尺寸(Footprint)

單音束足印尺寸  $a$  :

$$a = 2 \cdot z \cdot \tan\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

$z$  : 水深  
 $\phi$  : 音束束寬

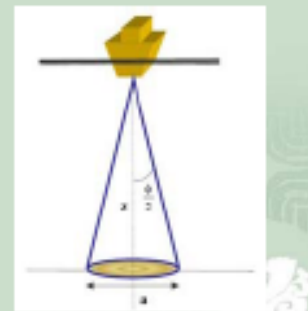
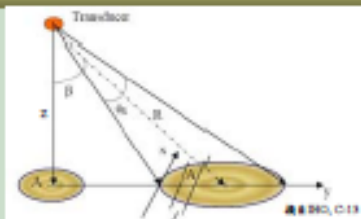


圖 2-2-1, © ITR

### 2-3、多音束聲納足印尺寸



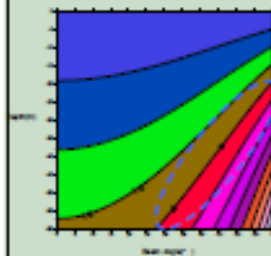
多音束足印尺寸隨音束角  $\beta$  變化 :

$$z \left[ \tan\left(\beta + \frac{\phi_0}{2}\right) - \tan\left(\beta - \frac{\phi_0}{2}\right) \right]$$

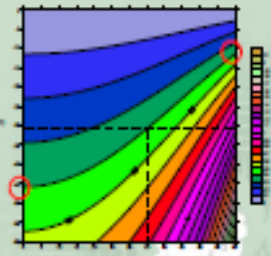


### 2-4、多音束聲納的足印尺寸

音束束寬為 1.5 度之足印圖  
 (水深 10 米及音束角 90 度以內)



音束束寬為 0.5 度之足印圖  
 (水深 10 米及音束角 90 度以內)



### 2-5、聲納主波與副波的量測誤差

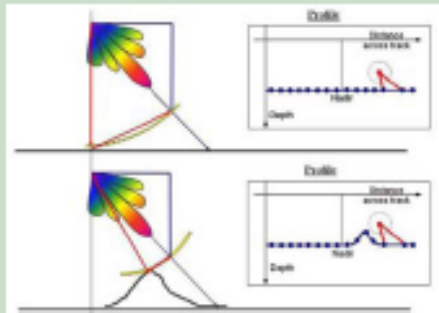


圖 2-5-1, © 13

### 2-6、音束寬窄對深度量測誤差之影響

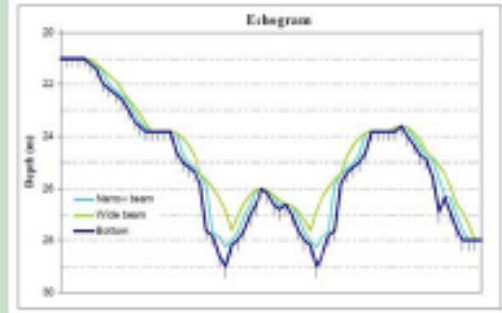


圖 2-6-1, © 13

### 2-7、疊合率定測量概述

- 率定測量是為反算四個參數，包括音波與三軸的偏差角度 (Pitch, Roll, Yaw) 以及定位與測深的時間延遲 (Time Delay)。
- 疊合率定測量的概念是比較不同量測條件下的地形測深結果，由測深差異反算時間延遲及三個角度。



圖 2-7-1, © 13

### 2-8、疊合率定測量方法-時間遲滯(time delay)

地形/測線/船速：斜坡/同向/不等速

$$\Delta t = \frac{\Delta z}{V_2 - V_1}$$

$\Delta t$ ：時間延遲

$\Delta z$ ：測深差

$V_1$ ：速度 1

$V_2$ ：速度 2

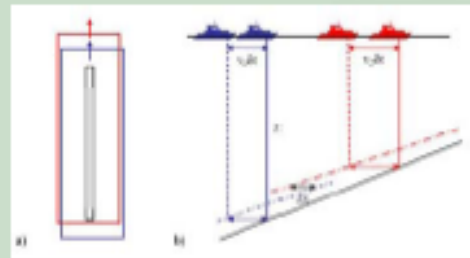


圖 2-8-1, © 13

### 2-9、疊合率定測量方法-橫搖 (Roll)

地形/測線/船速：平坦/反向/等速

$$\Delta \theta_r = \arctan\left(\frac{\Delta z}{\Delta x}\right)$$

$\Delta \theta_r$ ：橫搖偏置角

$\Delta z$ ：測深差

$\Delta x$ ：水平距離

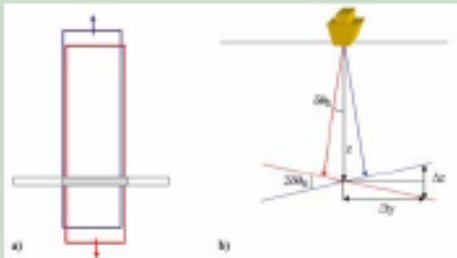


圖 2-9-1, © 13

### 2-10、疊合率定測量方法-縱搖 (Pitch)

地形/測線/船速：斜坡/反向/等速

$$\Delta \theta_p = \arctan\left(\frac{\Delta z}{\Delta x}\right)$$

$\Delta \theta_p$ ：縱搖偏置角

$\Delta z$ ：測深水平距離

$\Delta x$ ：水平距離

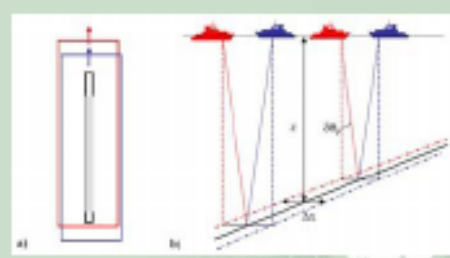


圖 2-10-1, © 13



### 2-11、疊合率定測量方法-船舶旋轉(Yaw)

地形/測線/船速：平坦有特徵物/反向/等速

$$\Delta\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)$$

$\Delta\theta$ ：船隻轉角

$\Delta y$ ：垂直軸向位移

$\Delta x$ ：水平軸向位移

$\Delta L$ ：測線間距

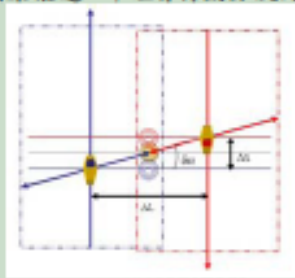
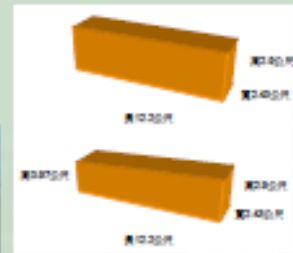


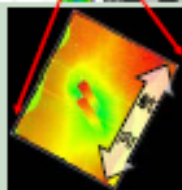
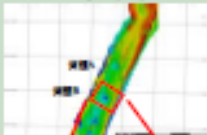
圖 2-11-1 (C13)

### 2-12、疊合率定測量-目標物尺寸

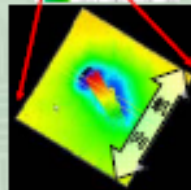
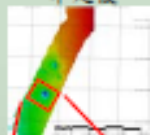


### 2-13、疊合率定測量結果

率定前



率定後



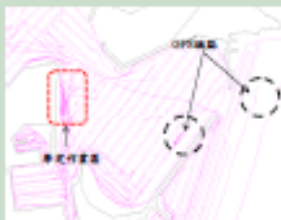
### 2-14、即時動態定位及後期處理的比較

	即時動態定位(RTK)	後期處理(PP)
時效性	即時快速	非即時，需要額外處理時間
精度	可快速獲得高精度	可獲得較穩定且高精度
穩定性	傳輸訊號可能受到干擾而產生跳點現象	類似 GPS 靜態(Static)測量，不需要額外通訊機制
其它	基站的選擇與成果品質關聯性高	需要大量儲存記憶體

### 2-15、RTK及PP定位的比較

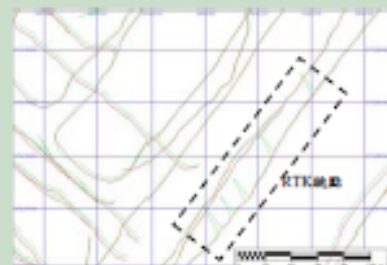
RTK定位航跡

PP定位航跡



99年05月蘇澳港多普勒測深航跡

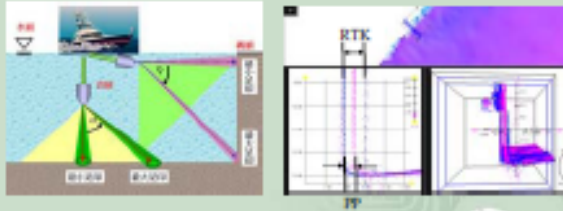
### 2-16、RTK及PP定位的比較



蘇澳港RTK&PP航跡放大比較圖(紅色PP，綠色RTK)

### 2-17、RTK & PP量測水下垂直結構物的差異

採用同一航向、同航速量測水下垂直結構物兩次



測定參數	Latency	Pitch	Roll	Yaw
RTK	0	6.5	-2	-3
PP	0	5.65	-2.65	-6

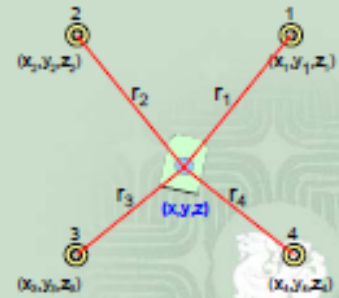
### 長基線定位之導航介面開發

### 3-1、長基線定位(LBL)系統

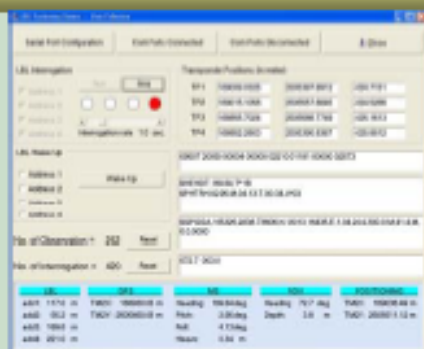


LinkQuest Inc. LBL PinPoint 1500

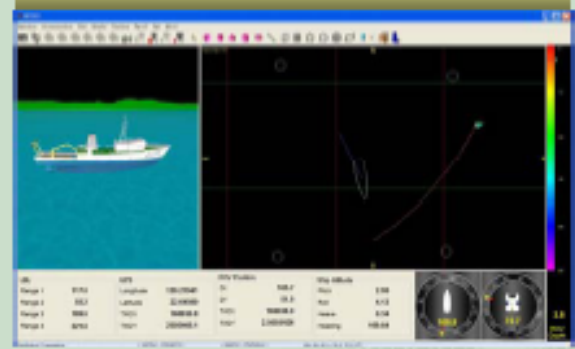
### 3-2、長基線定位流程



### 3-3、定位系統資料接收介面



### 3-4、ROV定位導航介面

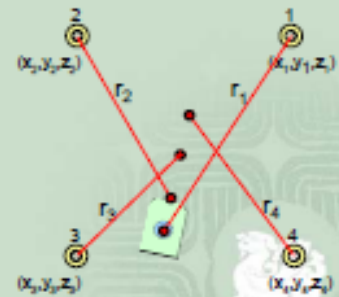


## 長基線系統之定位精度探討



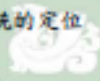
### 4-1、長基線定位誤差

詢答過程中，因載具位置變動而造成斜距量測基準不一致。



### 4-2、長基線定位實驗(1)

- 目的：探討長基線系統之定位精度。
- 作法：
  - 將收發器安裝在船隻底部進行定位實驗，透過長基線定位方法量測收發器的位置  $P_{LBL}$ 。
  - 船上同時架設GPS與運動感測器，透過GPS與船體姿態估算收發器的位置  $P_{GPS}$ 。
  - 藉由比對  $P_{LBL}$  與  $P_{GPS}$ ，探討長基線系統的定位精準度。



### 4-2、長基線定位實驗(2)

- 實驗地點：高雄外海(22° 38' 44" N, 120° 13' 13" E)
- 資料收集：長基線斜距、GPS、運動感測器、CTD
- 擺放方式：四支應答器以150 m × 150 m 方形陣列方式佈放
- 佈放深度：底碇於水深約26米的海底

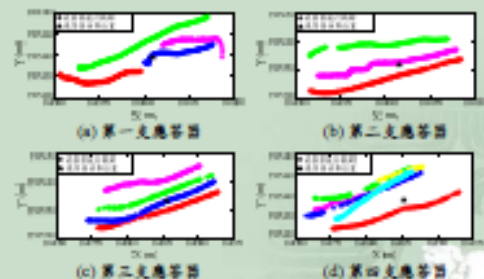


### 4-3、應答器定位(1)

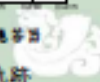
- 進行長基線定位量測之前，必須先定位四支應答器的位置。
- 在資料收集期間，釋放7次CTD，透過CTD量測來獲得水層聲速剖面。
- 根據水層聲速剖面、聲學斜距量測、GPS定位、以及運動感測器的艏向(Heading)、縱搖(Pitch)、橫擺(Roll)、起伏(Heave)資料，可利用數值方法推算出四支應答器的絕對座標位置。



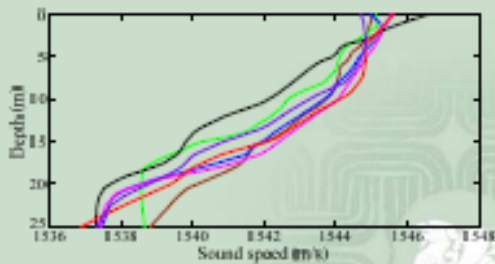
### 4-3、應答器定位(2)



收發器詢答各支應答器的航行軌跡

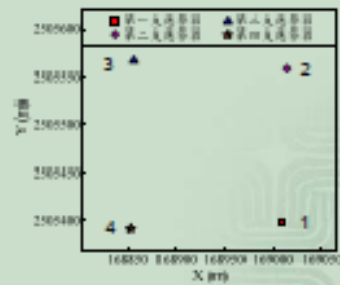


### 4-3、應答器定位(3)



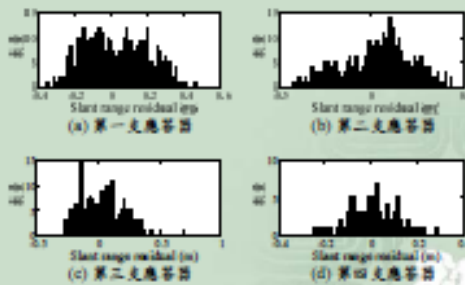
CTD量測所推算之水層聲速剖面

### 4-3、應答器定位(4)



應答器定位結果 (誤差約為10 cm)

### 4-3、應答器定位(5)



應答器之斜距殘差分佈(誤差約為10 cm)

### 4.4、長基線定位資料收集(1)

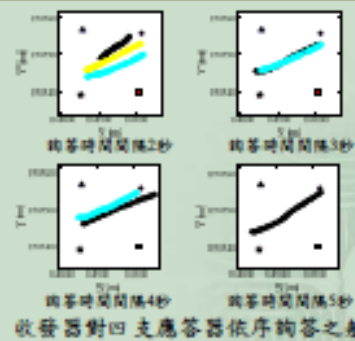
- 長基線系統定位誤差與收發器詢答間隔時間有關。



### 4.4、長基線定位資料收集(2)

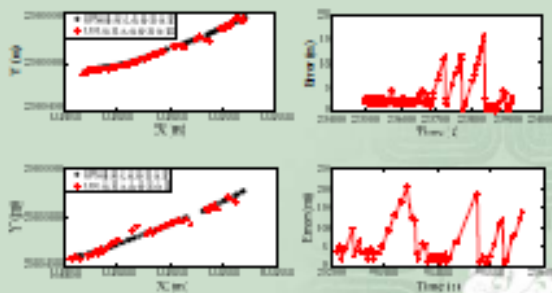
- 本研究分別設定詢答時間間隔為2、3、4、5秒，在應答器陣列上方水面收集斜距資料。
- 本研究利用漁船搭載長基線收發器進行定位實驗，而漁船難以控制在低速下穩定運動，其可控制之最小穩定運動速度約在5節左右，與一般水下載具的作業速度(小於3節)相去甚遠。由於當天海流速度約在0.6-1.1節，因此，本研究利用船隻順著海流漂移的運動模式來收集長基線定位資料。

### 4.4、長基線定位資料收集(3)



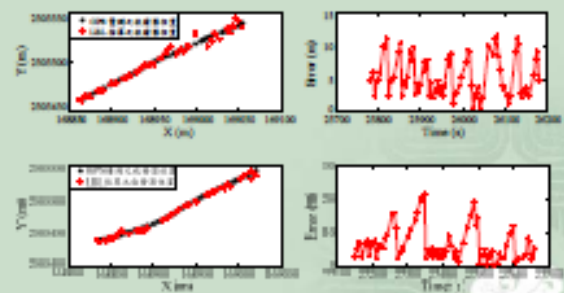
收發器對四支應答器依序詢答之航跡

#### 4-5、長基線定位估算(1)



詢答時間間隔分別為2、3秒之定位結果與誤差

#### 4-5、長基線定位估算(2)

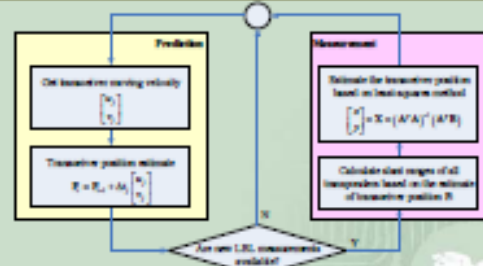


詢答時間間隔分別為4、5秒之定位結果與誤差

#### 4-6、長基線定位改善(1)

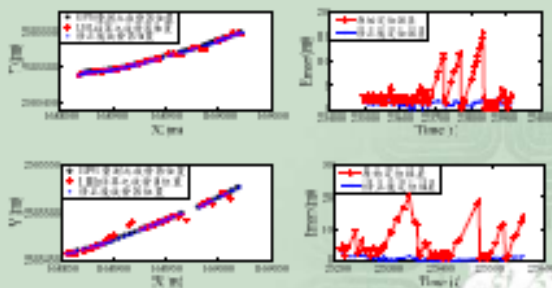
- 長基線定位誤差的主要來源在於無法連續收到應答器的詢答回報，為了改善應答器中斷回報所造成的定位誤差，可以設法從相關感測資料去預測收發器詢答各支應答器的絕對位置。
- 例如水下載具裝設都卜勒流速計，便可以取得水下載具在絕對座標下X方向的速度(u)和Y方向的速度(v)，此一資料便能用來預測應答器的位置，如果長基線收發器沒有收到應答器的回報，便可透過速度感測資料來預測收發器的位置。

#### 4-6、長基線定位改善(2)



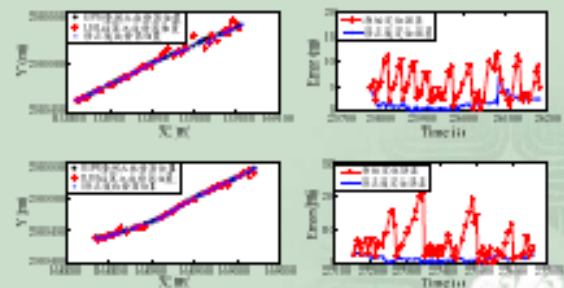
藉由速度感測資料預測收發器位置，以改善長基線定位誤差

#### 4-6、長基線定位改善(3)



詢答時間間隔分別為2、3秒

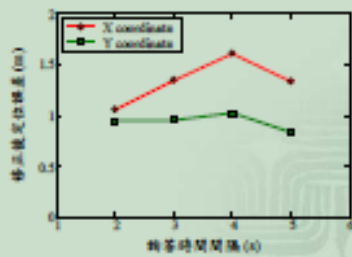
#### 4-6、長基線定位改善(4)



詢答時間間隔分別為4、5秒



#### 4-7、長基線定位誤差



改善後之長基線定位誤差

#### 5-1、期末結論(一)

- 定位精度、足印尺寸及疊合率定作業為多音束測深系統影響測量精度的三項關鍵因子。
- 定位誤差會被疊合率定參數吸收，而疊合測量率定參數乃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。
- 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 1公尺, PP 0.5公尺)，其誤差源主要來自定位誤差。

#### 5-1、期末結論(二)

- 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(depth, heading)與外部感測器(GPS, motion sensor, LBL)，可即時提供水下載具的方向與位置。
- 長基線定位精度受收發器詢答時間間隔與載具速度影響；詢答間隔時間越長、船速越快，長基線系統的定位誤差便會越大。

#### 5-1、期末結論(三)

- 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1~1.5公尺左右。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。

#### 5-2 建議

- 本研究案例在對於水下垂直結構物量測時，若採用RTK時的水平位置偏差量達到1公尺，而採用PP時的水平位置偏差量達到0.5公尺，仍有研究改進空間。

