

96-47-7263

MOTC-IOT-95-H2DA006

水下自動化監測作業技術之研發 (2/4)

著 者:邱永芳、郭振華、薛憲文、邱逢琛

交通部運輸研究所

中華民國96年4月

國家圖書館出版品預行編目資料

水下自動化監測作業技術之研發. (2/4) / 邱永芳等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所，民96

面；公分

參考書目：面

ISBN 978-986-00-9409-1(平裝)

1. 水下工程 - 管理 - 自動化 2. 水中聲學

443. 029

96007159

水下自動化監測作業技術之研發(2/4)

著者：邱永芳、郭振華、薛憲文、邱逢琛

出版機關：交通部運輸研究所

地址：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 96 年 4 月

印刷者：承亞興企業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺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

國家書坊臺視總店：臺北市八德路 3 段 10 號 B1•電話：(02)25781515

五南文化廣場：臺中市中山路 2 號 B1•電話：(04)22260330

GPN：1009600963

ISBN：978-986-00-9409-1 (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份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：水下自動化監測作業技術之研發(2/4)			
國際標準書號（或叢刊號） 978-986-00-9409-1（平裝）	政府出版品統一編號 1009600963	運輸研究所出版品編號 96-47-7263	計畫編號 95-H2DA006
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：郭振華、薛憲文、邱逢琛、蔡金吉 聯絡電話：04-26587101 傳真號碼：04-26571329			研究期間 自 95 年 01 月 至 95 年 12 月
關鍵詞：載具、多音束測深、船舶運動			
摘要：本計畫為發展水下自動化監測作業的相關技術，提昇水下工程施工品質與施工管理並期減少環境衝擊之目標,本年度研擬目標為 (1) 建立載具螺槳推力之分配方式，用以控制載具之縱移、橫移、平擺及起伏等運動。並提出利用載具導航感測器之運動量測數據，以及合理的運動數學模式，估測其縱移、橫移、平擺及起伏等運動模式中的參數數值。本計畫提出一個最小平方差估測方法，用來估算載具之運動參數。並使用數值模擬方法，驗證本方法之可行性。 (2) 繼續進行同一區域多音束測深示範作業，比對去年多音束測深資料探討漂砂回淤率；並且開設多音束測深訓練班；同時探討港灣水域底質分類及資料庫的建立方式。 (3) 本年度主要目標在於完成無線式船舶運動量測模組之研發，其主要實施步驟包括：加速度感測及無線傳輸模組建構，橫搖角、縱搖角感測及無線傳輸模組建構，船舶運動演算及統計分析模組建構，系統驗證與評估。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
96 年 4 月	80	100	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （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: Development of Automatic Underwater Monitoring Techniques (2/4)			
ISBN (OR ISSN) 978-986-00-9409-1 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009600963	IOT SERIAL NUMBER 96-47-7263	PROJECT NUMBER 95-H2DA006
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-fang PROJECT STAFF: Guo Jen-hwa, Shyue Shiahn-wern, Chiu Forng-chen, Tsai Chin-chi PHONE: 886-4-26587101 FAX: 886-4-26571329			PROJECT PERIOD FROM January 2006 TO December 2006
KEY WORDS : Vehicle, MBES (multibeam echo sounding), ship motion.			
ABSTRACT: In the project, the study focuses on the development about techniques of automatic underwater monitoring to improve the quality control of underwater construction and management. The targets of the second year's project are as follows. 1. We present a method for parameter identification of the underwater vehicle model. The vehicle has four thrusters. With proper thrust distribution algorithms, the vehicle is able to move in surge, sway, heave, and yaw directions. The vehicle has different dynamic responses in each of its degree-of-freedom due to the open-frame design. Mathematical models are established for each degree-of-freedom. Least squares method is used to find the values of model parameters. Computer simulations are then used to verify the approach presented here. The vehicle's frame, pressure tube, and control system are designed and constructed. 2. We continue a demonstrative MBES survey with standard procedures in the same area performed last year. Sediment deposition rate in the harbor will be explored to compare with two-year MBES's data. A 10~20 persons training course about MBES technology is offered this year. Seabed classification using multibeam echo sounding backscatter data for harbor bathymetric survey is investigated. A database for bottom types is also explored in this research. 3. The procedures to develop wireless module for ship motions measurement are as follows. First, an accelerometer with wireless module is developed. Second, a pitch and roll measuring inclinometer with wireless module is then developed. At last, statistics and motions analysis module are constructed.			
DATE OF PUBLICATION April 2007	NUMBER OF PAGES 80	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·····	VII
第一章 前言·····	1
第二章 水下載具之推力分配及制作·····	3
2.1 推力分配·····	3
2.1.1 螺槳推力分配·····	3
2.1.2 螺槳推力數據·····	5
2.2 載具製作·····	8
2.2.1 系統規劃·····	8
2.2.2 載具元件·····	10
第三章 以聲波方式進行底質分類作業模式·····	15
3.1 底質分析理論·····	15
3.2 底床質分類處理方式·····	17
3.3 使用 QTC MultiView 分析示範測區底質之研究·····	19
3.3.1 使用 QTC MultiView 分析示範測區底質之問題·····	19
3.3.2 使用 QTC MultiView 分析示範測區底質之結果·····	21
3.3.3 多音束測深資料與側掃聲納影像比較·····	21

3.4 電子海圖地質分類方式·····	23
第四章 無線式船舶運動量測模組規劃·····	27
4.1 無線感測區域網路(WSAN) ·····	27
4.2 三種無線傳輸技術規格之比較·····	28
4.3 以射頻RF無線傳輸元件測試·····	30
4.4 以 Zigbee 無線傳輸元件測試·····	33
4.5 提升無線傳輸取樣頻率之對策·····	36
第五章 結論與建議·····	39
參考文獻·····	41
附錄一 期末報告簡報·····	47
附錄二 期末報告審查意見及辦理情形·····	75

圖 目 錄

圖 2-1 螺槳、導航儀器及壓力容器之配置·····	7
圖 2-2 螺槳尺寸·····	8
圖 2-3 螺槳推力曲線·····	8
圖 2-4 載具外型與主要尺寸·····	10
圖 2-5 載具之硬體架構·····	10
圖 2-6 載具之軟體架構·····	11
圖 2-7 作業及載具收納支架·····	13
圖 3-1 QTC 底質分析原理說明圖·····	16
圖 3-2 QTC 底質分析流程說明圖·····	17
圖 3-3 Q-space 分佈圖·····	18
圖 3-4 底質分類模式·····	19
圖 3-5 單一測線底質分類圖·····	19
圖 3-6 FI02、FI03 及 FI04 分組分佈圖·····	21
圖 3-7 多音束測深與側掃聲納單一測線成果比較·····	22
圖 3-8 側掃聲納單一測線影像·····	22
圖 3-9 側掃聲納測線合併色階圖·····	23
圖 4-1 無線感測網路 WSN(Wireless Sensor Network)架構圖·····	28
圖 4-2 802.11b、Bluetooth 與 ZigBee 三者比較·····	28
圖 4-3 IEEE802.15.4/Zigbee 應用產品標準架構·····	30
圖 4-4 射頻 RF 無線傳輸元件含發射及接收元件·····	31

圖 4-5 CROSSBOW 加速度計及傾角計等感測器·····	31
圖 4-6 感測器與射頻 RF 無線傳輸發射元件之接合情形·····	32
圖 4-7 射頻 RF 無線傳輸接收元件與電腦接合之情形·····	32
圖 4-8 以 WINDOWS 內建超級終端機擷取得到之訊號·····	33
圖 4-9 CROSSBOW 所附光碟，包含 TINYOS、硬體驅動程式及監控軟體·····	34
圖 4-10 TINYOS 的介面 CYGWIN·····	34
圖 4-11 MOTEVIEW 主程式介面·····	35
圖 4-12 MOTECONFIG 程式介面·····	35
圖 4-13 傳輸取樣頻率測試·····	37

表 目 錄

表 2-1 各運動方向之螺槳推力分佈·····	5
表 2-2 螺槳推力數據·····	6
表 2-3 設計規格·····	9
表 3-1 聲波波長分組表·····	20
表 3-2 表層屬性分類編碼·····	24
表 3-3 表層特性分類編碼·····	25

第一章 前言

近岸水下工程之施工目前尚以潛水人員做為監測品管的一環，同時水下基礎控制皆未建立量測技術，因此發展水下自動化監測作業的相關技術對於水下工程施工品質的管制與施工安全管理，皆有相當助益，本研究即針對研發港灣、海洋及水下新科技減少環境衝擊之目標，研提三個子計畫，其各項計畫之目標分述如下：

- (1) 由於水下機器人系統相關技術在提昇港灣設施水下檢測工作效率及解決現存港灣水下檢測工作遭遇困難問題上具備充分發展潛力，本計畫以國內港灣工程之需求為主要考量，設計並製作一具小型水下機器人系統，期能減少潛水人員工作負荷，或在惡劣工作環境下代替潛水人員施行海中檢測、資料蒐集、施工作業等工作。在功能設計上，則以港灣水下結物之表面檢測業務及簡易水下施工需求為主要考量。本計畫研究內容包含水下機器人系統設計規劃、導航控制、影像處理、及虛擬實境之應用等。

在系統模式鑑定部分，本年度提出一具水下無人載具之設計方案。此載具可用於港灣水下結構物之自動化觀測。載具使用四具螺槳推進器，以推力分配的方式，產生水平面直線及旋轉運動，以及垂直上下之運動。由於開框架載具的形狀不對稱，因此在不同的運動方向及運動速度下，會導致不同的動態反應，且各維度之運動模式所使用的螺槳推力配置各不相同，在參數估測的程序中，需針對各維度運動，分別設計參數估測方法。本計畫提出一個最小平方差估測方法，用來估算載具之縱移、橫移、平擺及起伏等運動參數。並使用數值模擬方法，鑑定運動方程式之參數，建立其數學模型。

- (2) 本計畫目標在研究我國之各國際商港港域水深、回淤率、底質分佈，藉以因應船舶大型化之國際港灣水域之競爭，進入 WTO 之海事及疏浚工程國際化，避免工程糾紛。近年來，多音束測深技術已成為 IHO 及 IMO 之積極發展測深技術，本計畫即針對多音束測深技術建立及其示範作業，多音束測深規範制訂，水深資料庫建制，測深人

員訓練等工作進行研究。進而充分瞭解各國際商港港域之漂沙回淤率，以為港灣及疏浚工程之參考依據。本年度探討評估該示範區之漂沙回淤率、開設多音束測深技術訓練班、建立多音束聲波回波強度資訊或側掃聲納對底質之測量及分類技術、探討建立港灣水域底質資料庫。

- (3)本計畫之目標在於探討利用海巡船舶運動反算分析波浪的方法，建置臺灣海域波浪即時播報與查詢系統之可行性及其形規劃，並建立其核心技術，以作為建置該系統之基礎，而有助於提昇海域航行安全。

本年度計畫之主要目標在於完成無線式船舶運動量測模組之研發。實施步驟包括：加速度感測及無線傳輸模組建構，橫搖角、縱搖角感測及無線傳輸模組建構，船舶運動演算及統計分析模組建構，系統驗證與評估。

第二章 水下載具之推力分配及制作

2.1 推力分配

2.1.1 螺槳推力分配

本計畫所規劃之載具，將使用四具螺槳推進器，以推力分配的方式，產生水平面直線及旋轉運動，以及垂直上下之運動。由於平面運動與垂直運動之間不耦合，因此只需分析載具平面運動之螺槳輸出力關係。其中 F_1 ， F_2 為螺槳 1 與螺槳 2 在 y 方向的推力分量， F_3 ， F_4 為螺槳 3 與螺槳 4 在 x 方向的推力分量。 L_1 ， L_2 ， L_3 ，及 L_4 分別為螺槳推力與座標中心點的力臂長度。

$$F_x = -F_3 - F_4$$

$$F_y = -F_1 \cos \alpha + F_2 \cos \alpha$$

$$M_z = F_1 \cos \alpha \times L_1 - F_2 \cos \alpha \times L_2 + F_3 \times L_3 - F_4 \times L_4 \quad (2-1)$$

$$F_z = -F_1 \sin \alpha - F_2 \sin \alpha$$

上式中， F_x ， F_y ，及 M_z 分別代表在 x 方向， y 方向的推力總和，以及 z 方向的力矩總和。 α 為螺槳推力 F_1 、 F_2 與水平面之夾角。 α 之設計，其目的是為產生平移與起伏之分力，故不宜為 0° 和 90° 。式(2-1)可改寫為

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_z \\ F_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & -1 \\ -\cos \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ L_1 \cos \alpha & -L_2 \cos \alpha & L_3 & -L_4 \\ -\sin \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

令

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_z \\ F_z \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & -1 \\ -\cos \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ L_1 \cos \alpha & -L_2 \cos \alpha & L_3 & -L_4 \\ -\sin \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

所以，

$$\mathbf{Y} = \mathbf{A} \mathbf{X} \quad (2-4)$$

根據上式所推得的螺槳輸出關係，可解得四具螺槳的推力。

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{Y} \quad (2-5)$$

其中

$$\mathbf{A}^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{0.5}{\cos(\alpha)} & 0 & -\frac{0.5}{\sin(\alpha)} \\ 0 & \frac{0.5}{\cos(\alpha)} & 0 & -\frac{0.5}{\sin(\alpha)} \\ \frac{-L_4}{L_3 + L_4} & 0.5 \frac{L_1 + L_2}{L_3 + L_4} & \frac{1}{L_3 + L_4} & 0.5 \frac{\cos(\alpha)(L_1 - L_2)(L_3 + L_4)}{\sin(\alpha)} \\ \frac{-L_3}{L_3 + L_4} & -0.5 \frac{L_1 + L_2}{L_3 + L_4} & \frac{-1}{L_3 + L_4} & -0.5 \frac{\cos(\alpha)(L_1 - L_2)(L_3 + L_4)}{\sin(\alpha)} \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

或

$$F_1 = -\frac{0.5}{\cos(\alpha)} F_y - \frac{0.5}{\sin(\alpha)} F_z$$

$$F_2 = \frac{0.5}{\cos(\alpha)} F_y - \frac{0.5}{\sin(\alpha)} F_z$$

$$F_3 = \frac{-L_4}{L_3 + L_4} F_x + 0.5 \frac{L_1 + L_2}{L_3 + L_4} F_y + \frac{1}{L_3 + L_4} M_z + 0.5 \frac{\cos(\alpha)(L_1 - L_2)(L_3 + L_4)}{\sin(\alpha)} F_z$$

$$F_4 = \frac{-L_3}{L_3 + L_4} F_x - 0.5 \frac{L_1 + L_2}{L_3 + L_4} F_y - \frac{1}{L_3 + L_4} M_z - 0.5 \frac{\cos(\alpha)(L_1 - L_2)(L_3 + L_4)}{\sin(\alpha)} F_z$$

由於各螺槳之實際輸出推力計算必須使用螺槳之靜水下之推力曲線估算，因此推力的需求與實際輸出推力間存在誤差，此誤差為造成控制誤差的因素之一。表 2.1 所示之各運動方向之螺槳推力分佈方式，可以用來控制載具之各維度運動。

表 2-1 各運動方向之螺槳推力分佈

運動方向	推力設定	F_1	F_2	F_3	F_4
縱移	$F_x \neq 0$; $F_y = M_z$ $F_z = 0$	0	0	$\frac{-L_4}{L_3 + L_4} F_x$	$\frac{-L_3}{L_3 + L_4} F_x$
橫移	$F_y \neq 0$; $F_x = M_z$ $F_z = 0$	$\frac{-0.5}{\cos(\alpha)} F_y$	$\frac{0.5}{\cos(\alpha)} F_y$	$\frac{0.5(L_1 + L_2)}{(L_3 + L_4)} F_y$	$\frac{-0.5(L_1 + L_2)}{(L_3 + L_4)} F_y$
平擺	$M_z \neq 0$; $F_x = F_y = F_z = 0$	0	0	$\frac{1}{L_3 + L_4} M_z$	$\frac{-1}{L_3 + L_4} M_z$
起伏	$F_z \neq 0$; $F_x = F_y = M_z = 0$	$\frac{-0.5}{\sin(\alpha)} F_z$	$\frac{-0.5}{\sin(\alpha)} F_z$	$0.5 \frac{\cos(\alpha)(L_1 - L_2)(L_3 + L_4)}{\sin(\alpha)} F_z$	$-0.5 \frac{\cos(\alpha)(L_1 - L_2)(L_3 + L_4)}{\sin(\alpha)} F_z$

2.1.2 螺槳推力數據

本計畫擬使用之螺槳推進器之外型及螺槳尺寸如圖 2.2 所示。表 2.2 為此螺槳推進器在靜止下的推力與電壓關係，圖 2.3 為此數據之圖形表示，其中明顯可見在電壓輸出 ± 0.5 V 之區域，由於軸系防水壓設計，以及摩擦力等因素，螺槳不輸出推力，稱為螺槳不反應區。此不反應區為造成控制誤差之主要因素之一。在控制時，所需之推力可經由此二次方程式反推回需輸出之電壓值。

表 2-2 螺槳推力數據

電壓(V)	-5	-4.5	-4	-3.5	-3	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5
推力 (Kgf)	-6.5	-6	-5	-3.5	-2.5	-1.5	-1	-0.5	-0.2	0
電壓(V)	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1	0.5
推力 (Kgf)	11	10	7	5.5	3.5	1.5	1	0.5	0.2	0

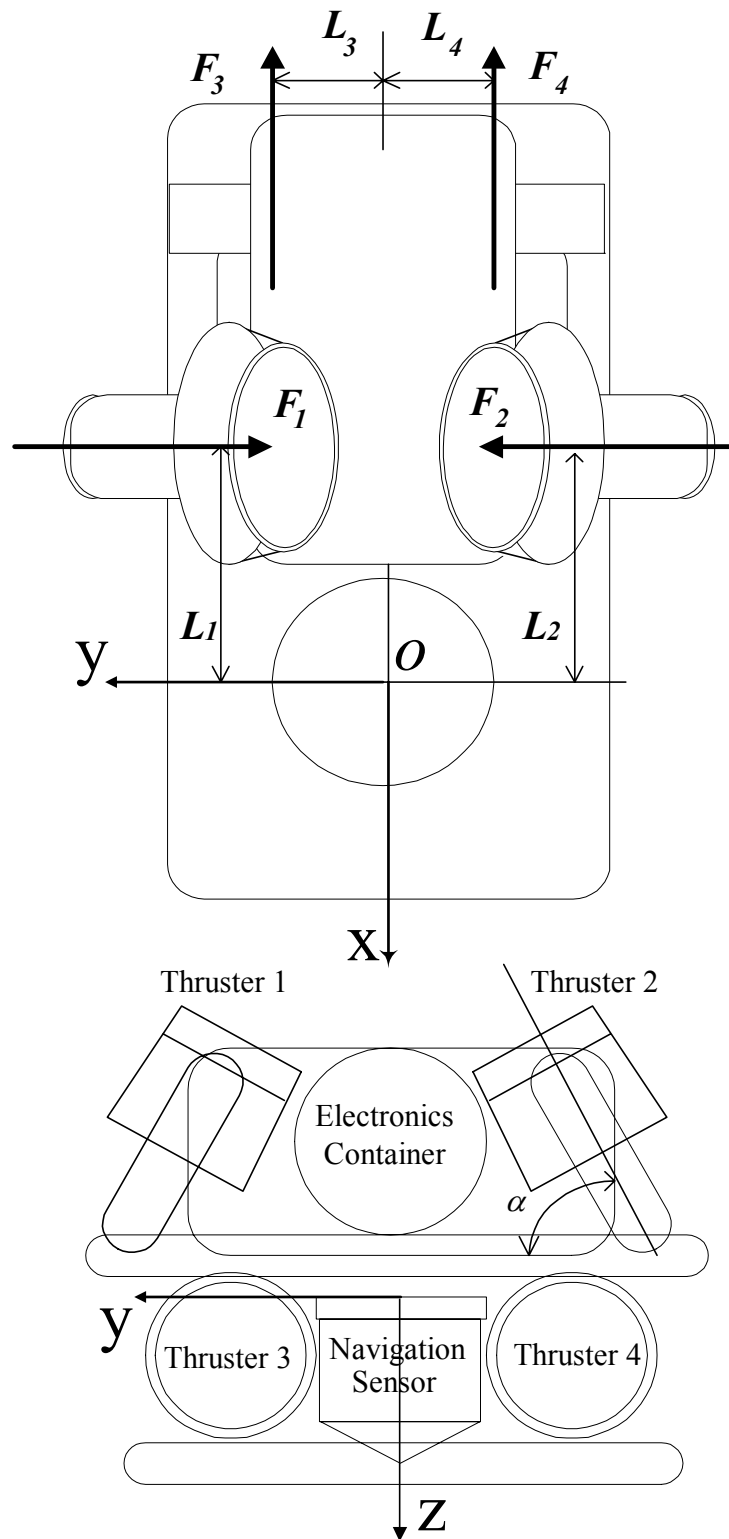


圖 2-1 螺槳、導航儀器及壓力容器之配置

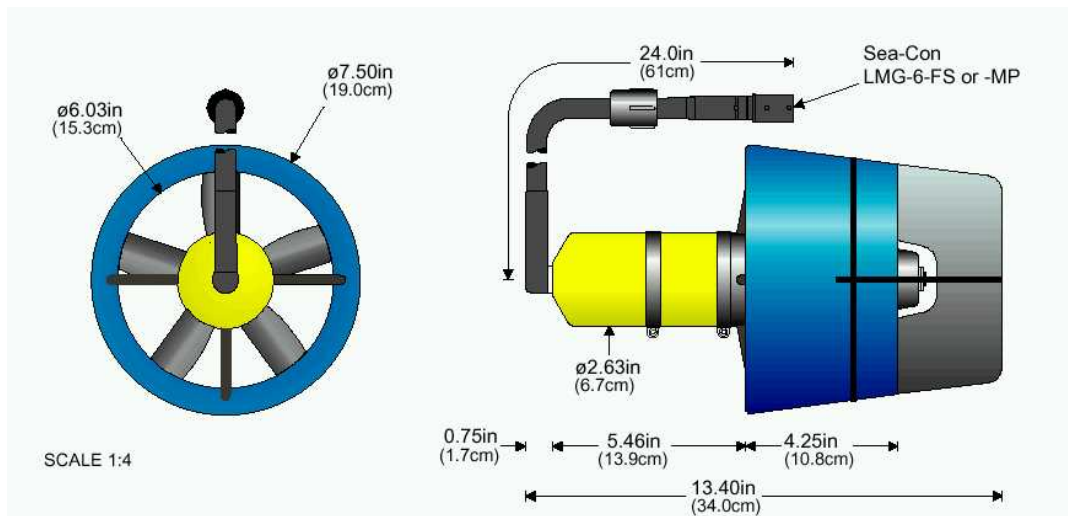


圖 2-2 螺槳尺寸

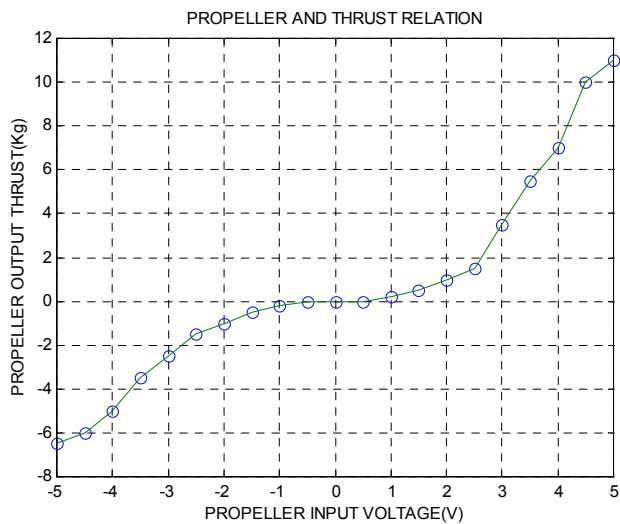


圖 2-3 螺槳推力曲線

2.2 載具製作

2.2.1 系統規劃

本計畫設計之水下遙控載具，其組成之元件及次系統包含:載具本體結構(支架、浮力材、機械轉盤、螺槳、控制筒);感測元件(都卜勒、光學攝影機);導航控制電腦;人機界面;支援次系統(纜線、交流轉直流電

源供應器、纜線車架);載具以 200 公尺之纜線與操作者界面相連，操作者可以自動控制或以手動方式操縱載具。載具經由 4 具螺槳之控制，可實現縱向、垂向、橫向、及水平面之轉向運動。行進速度及深度可選擇為手動控制或自動控制。載具之導航資訊，例如時間、方位、深度、機械轉盤位置、螺槳轉速、載具速度等皆即時顯示於人機界面之監視螢幕。設計規格如表 2-3 所示。

表 2-3 設計規格

項目	規格
外型尺寸	1.0m(L)×0.6m(W)×0.6m(H)
重量	40kg 空氣中重量
操作深度	100 m
航速	最大 0.8 m/s
配重	3 kg (可調整)
推進器	4×1 hp
電動機械轉盤	1 個
感測元件	視訊攝影機; 影像聲納
導航元件	都卜勒聲納
支援系統	電源：110VAC, 50/60 Hz, 10 Amps： 220VAC, 50/60 Hz, 20 Amps 交直流電源供應器；1 個 運輸：小型工作船或吊車

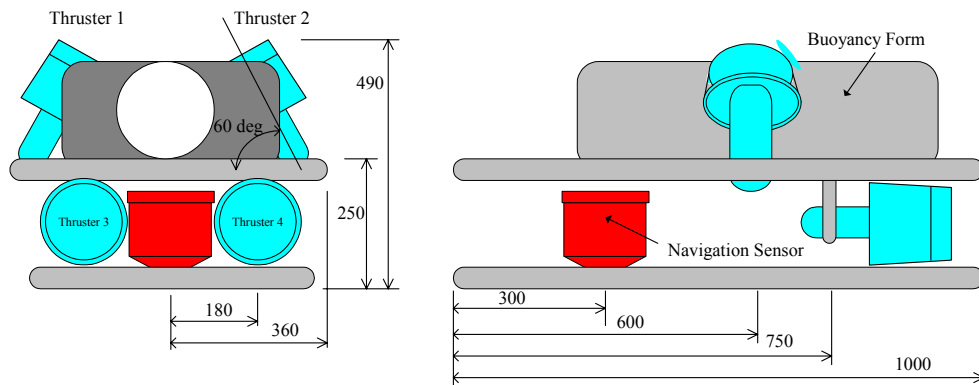


圖 2-4 載具外型與主要尺寸

2.2.2 載具元件

圖 2-4 為本計畫製作中之水下無人載具本體之外型與主要尺寸。載具的硬體架構如圖 2-5 所示，其軟體規劃如圖 2-6 所示。各組成元件之說明如下：

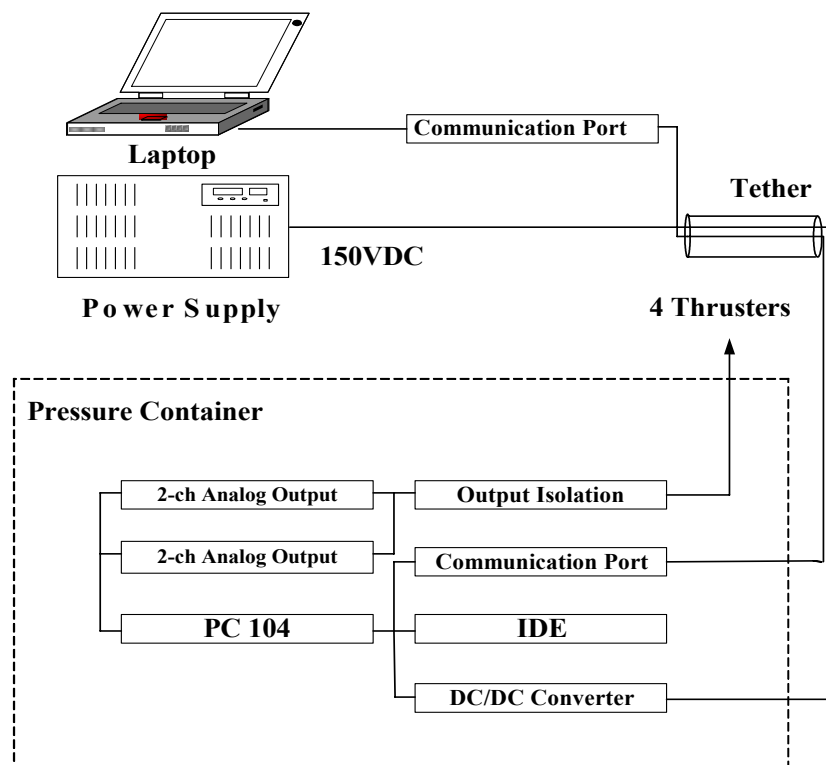


圖 2-5 載具之硬體架構

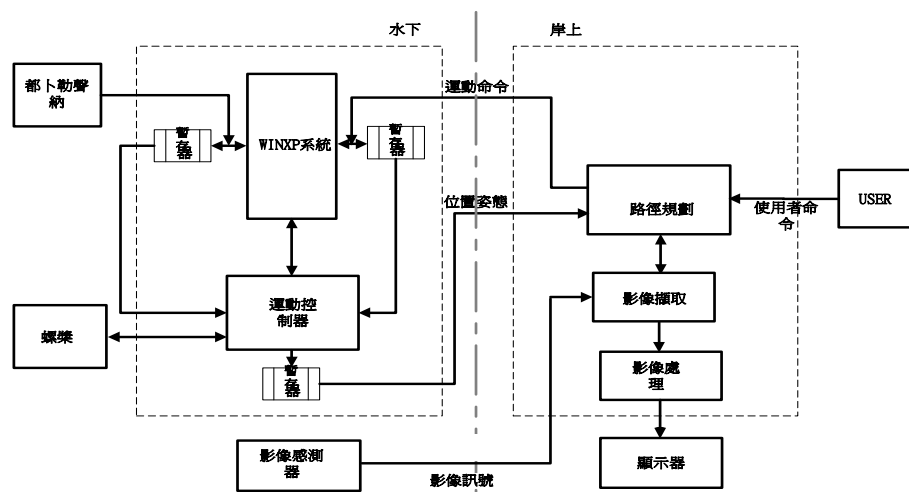


圖 2-6 載具之軟體架構

1. 外型支架及耐壓容器

載具的外框及儀器支架採開框架方式，其優點是儀器可輕易配掛於支架之適當位置，其配掛位置也可視需求做調整。外型支架及耐壓容器之說明如下：

- 耐壓容器: 承載電子儀器之耐壓容器，耐壓殼的形狀是考慮對抗外壓負荷的結構效率以及佈置上的要求而決定，圓筒形狀在製造及拆裝為最方便。
- 開框架結構: 開框架結構是利用不鏽鋼管材組合而成的骨架，以達到輕量及耐腐蝕性，並可於其上固定耐壓容器、感測元件、螺槳推進器、浮力材。採用開框架設計之優點是較容易追加設備及調整浮力、易於維修、水下運動較安定等。
- 浮力材: 載具在水中能夠達到浮力與重力平衡的運動狀態，我們必須加上浮力材及配重鉛塊來平衡重力與浮力的差異。浮力材必須重量小而浮力大，本計畫採用的是高強度合成發泡材。

2. 導航控制

本計畫所建造之載具系統與傳統之遙控載具最大分別在其具有精確的導航及運動控制能力。導航控制與視訊攝影機配合，方能登錄載具運動時擷取之環境影像，進而組合不同觀測點之影像資料，以形成大範圍影像。導航控制的資料傳遞，是由岸上電腦利用臍帶的同軸電纜與載具的控制電腦作網路通訊，而水下電腦也經由此網路將資料即時送到岸上電腦，完成岸上及水下電腦間的通訊。

導航系統包含一具都卜勒導航聲納，載具運動則由 4 具螺槳推進器來達成。控制電腦作業平台為 Windows XP，及一個在個人電腦上執行的 Lab windows 作業程式，以提供 TCP/IP 網路功能，作為伺服器之用。根據相對於海底平面之速度積分數值，載具之 3 度空間定位資訊可由都卜勒導航聲納、磁力式航向角感測儀、傾斜儀、深度計等導航儀器提供。操作者可由鍵盤輸入位置指令，或是以自動控制模式，經由路徑規劃設計，追蹤空間參考座標以達到等深度、等速度、定向、或與岸壁維持等距離之操作模態。使用自動控制之好處，在於簡化操作者學習載具教導的過程，減輕操作載具之負荷、增加載具軌跡控制之精度，因此工作人員可集中其注意力於載具路徑規劃及岸壁影像之判讀。載具之人機圖控界面之顯示內容包含載具與操作者之即時相對位置、載具之空間軌跡即時顯示、深度、姿態角、各感測器與各螺槳馬達電壓之輸出等資訊。由操作者經由圖形界面輸入載具之控制指令，指令訊號經岸上之控制電腦及網路橋接器，由一臍帶電纜下傳至水下之控制電腦。此臍帶電纜需符合下列要求：強度足以支持載具重量、小直徑、正浮力及足夠之柔軟度。

3. 作業平台與電源

載具之搬運、作業時人機界面放置之場所、電源及修護工具之提供等需要一專用之收納空間，本計畫所製作之載具工作台及收納支架如圖 2-7 所示。作業時需要以小型工作船或小型卡車擔任支援工作，以

人力將載具吊放至水中，作業結束時亦使用人力回收載具。

電源之供應，由圖 2-7 中所示之電源供應器，經由纜線連接水下之電壓轉換器，提供載具控制、計算等工作所需之電源。



圖 2-7 作業及載具收納支架

第三章 以聲波方式進行底質分類作業模式

3.1 底質分析理論

海床底質分類(seabed classification)可以採用視覺法(visual)、機械法(mechanical)及聲學法(acoustical)，而使用視覺法(潛水、攝影、錄影)及機械法(抓取、岩芯採樣、探測器探測)之速度極慢，且極為耗費人力，因此極為昂貴，並不適合於大範圍的調查工作。聲學法因不需要停船作業，故能快速的進行大範圍的調查。然而單獨使用聲學法進行海床底質分類，只有在特殊狀況下才會發生，因為僅有海床的回波反射(seabed echo)及散射(backscatter)資訊，並不夠有信心的說明海床沈積物(sediment)為砂(sand)、泥(mud)、砂礫(gravel)或其他類別。通常可以在全面進行聲學法海床底質分類調查後，再採用視覺法或機械法進行點的底質驗證工作。

影像式(image-based)海床底質分類法是利用聲波散射的特性，將影像分割(segmentation)成為數個類別(classes)，而在每個類別的範圍內，皆假設其特性相同。因此需要以視覺法或機械法來實地驗證點的數目，必定大幅減少，其取樣則可根據影像分割的成果來進行，而取樣之位置，則儘量避開各類別之邊界範圍，如此亦可減少取樣後資料處理的負擔。其他未取樣區域範圍之海床底質類別，則可以分割後之影像來推論。

QTC (Quester Tangent Corporation) View 可以配合硬體接收單音束測深之回波強度，提供海上即時底質分類。而 QTC IMPACT(Integrated Mapping Processing and Classification)軟體，則以後處理(post-process)的方式，將單音束的回波強度進行海床底質分類。雖然多音束測深系統(Multibeam Echo Sounding System)及側掃聲納(Sidescan Sonar)亦可接收回波強度資訊，但因各音束之掠過角(grazing angle)或入射角(incident angle)(90° 減去掠過角即為入射角)及足印大小(footprint or

insonification area)並不相同，因此其資料修正之方法與前述對象不同，所以 QTC Multiview 軟體針對多音束測深系統，QTC Sideview 則針對側掃聲納進行海床底質分類工作。

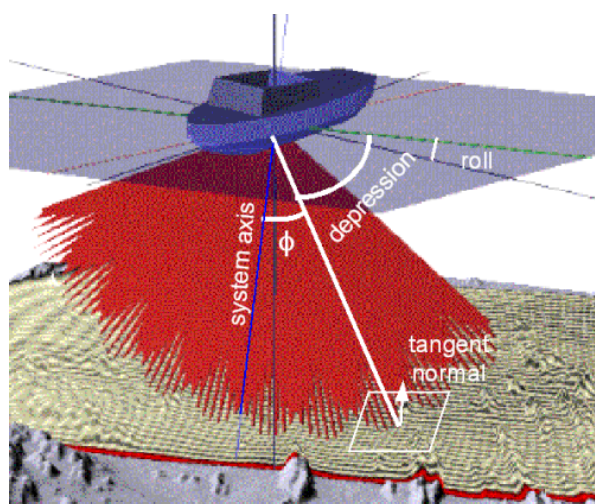


圖 3-1 QTC 底質分析原理說明圖

聲納回波強度影像的統計性質與底質類別息息相關，對一般人而言，岩石(rocks)、砂(sand)及軟泥(mud)在影像中紋理(texture)的差異極易辨別，但砂泥(silt)與黏土(clay)之差異則並不顯著。將聲納回波強度影像進行統計分析，則可掌握聲波、底床及其地形高低起伏之互動關係。多變數統計分析(multivariate statistical analysis)則可分離這些底床類別細節，產生特徵向量(feature vectors)，並提供精確及可靠分類所需的資訊。隨後以多音束或側掃聲納資料之特性，採用自動聚類法(automated clustering)來進行海床底質分類。每一個聚類代表一種海床底質類別，可以經由回波強度影像或現場驗證方式(相片、粒徑分析等)來辨識。若海床底質類別在分類前是已知，則可利用不同底質類別的區域來建立聲納回波強度影像與已知底質類別的相關性目錄(catalogue)，則其他的底質可以藉此目錄來進行推論，這種方法稱為監督式分類法(supervised classification)。而非監督式分類法(unsupervised classification)則僅以聚類類別，配合現場驗證資料來進行分類，QTC Multiview 採用非監督式分類法。

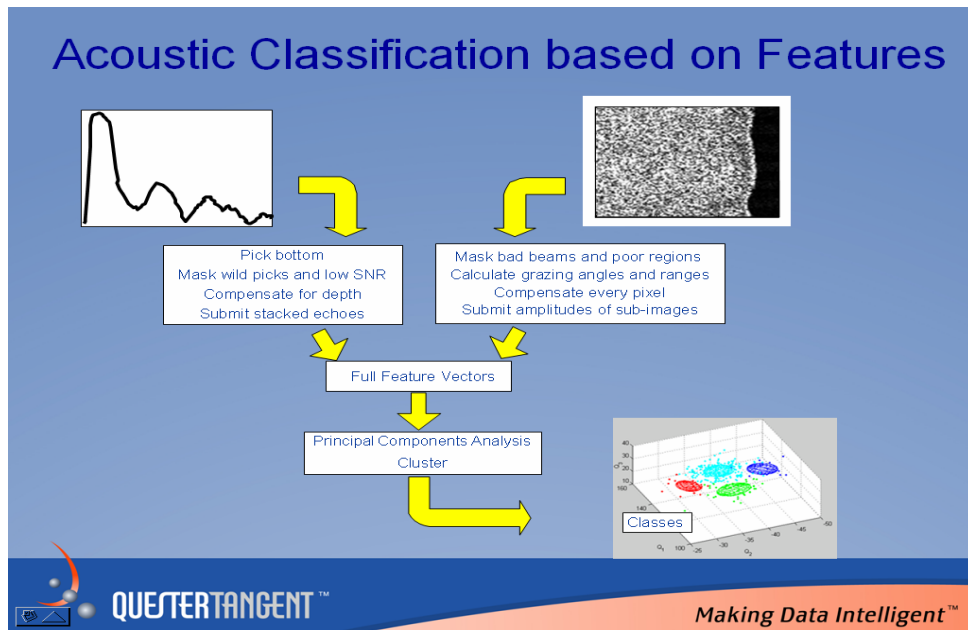


圖 3-2 QTC 底質分析流程說明圖

3.2 底床質分類處理方式

多音束測深資料進行影像式海床底質分類法之處理步驟：

1. 載入資料(load data)：載入由多音束測深系統所收集之回波強度影像及定位與其他感測器資料。
2. 確認及資料品質(validation and quality control)：若水深資料不合理(魚群反射或雜訊等)或船隻受海象因素影響以致動態過大，則回波強度資料必不正確，必須加以剔除。若聲納操作狀況或設定改變，則在分類前需要先將操作狀況或設定條件相同之資料分成不同的資料組，因各資料組之統計特性不同，再針對不同的資料組分別進海底質分類，而會影響到底質分類之聲納操作設定主要為聲波之波長(pulse length)，需特別注意部分多音束測深儀會自動改變操作狀況。
3. 加入長方形(place rectangles)：影像上海床部分會被劃分為長方形區塊(patchs)，這些長方形區塊是依據資料品質並利用遮罩(mask)來佈置的，部分多音束測深系統的佈置是受到足印大小及掠過角(grazing angle)之限制影響。以這些掠過角之限制及使用者選擇之區塊大小，來決定左右側區塊之個數，各區塊隨後會給予一個類別(class)。

4. 產生特徵(generate features)：在每個區塊中採用許多演算法(例如：平均值、標準差、高階力矩(higher-order moment)、分位數(quantile)、直方圖(histogram)、快速傅力葉轉換(fast Fourier transforms)、基於幕次頻譜的比率(ratios based on power spectra)、灰階共現矩陣(gray-level co-occurrence matrices)、碎形維度(fractal dimension))，由回波散射強度(backscatter intensities)及影像強度(image intensities)中萃取出特徵。此步驟會產生一個矩陣，其欄位(column)值為特徵之一，其列(row)值為一區塊的所有特徵。
5. 多變數統計分析(multivariate statistical processing)：確認所有資料特徵之主成分(principal components)，依據變方(variance)之大小，將原始特徵之線性組合(linear combinations)加以排序。前三個線性組合已包含全部變方的大部分，將此組合寫入一個資料檔，再配合此區塊之定位及時間資料。
6. 聚類分析(clustering analysis)：將所有區塊的主成分具有類似聲學性質者加以聚類起來，這些聚類即代表許多海床底質類別。這個聚類過程是建立在三個主成分 Q_1 ， Q_2 ， Q_3 所組成的三度空間，且此過程為循環(iterative)的。可參照圖 3-3。

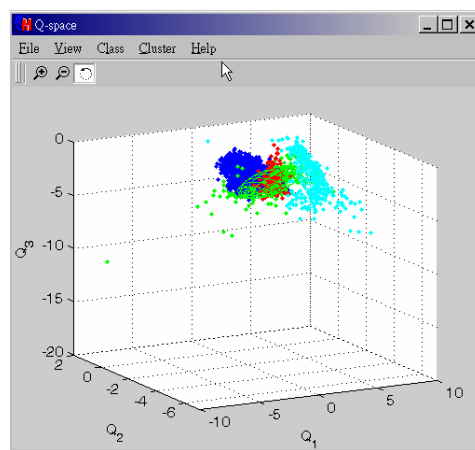


圖 3-3 Q-space 分佈圖

7. 海床底質分類(classification of seabed)：產生一個目錄(catalogue)包含三個主成分特徵所產生的簡化矩陣(reduction matrix)，並定義 Q

空間內之邊界用來提供每個區塊一個海床底質類別。可分為手動分類及自動分類，可參照圖 3-4。

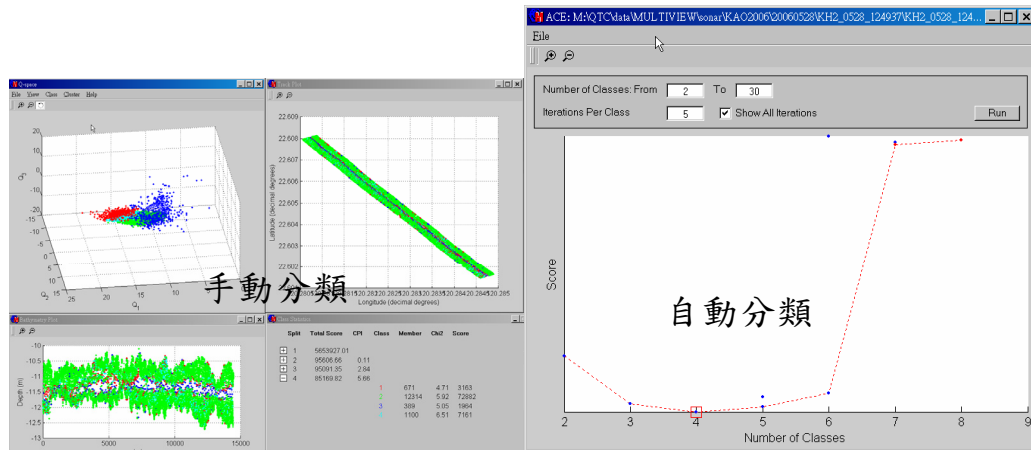


圖 3-4 底質分類模式

8. 展示(presentation)：分類成果配合位置及深度資料會被寫入一個 ASCII 檔案，可將此檔案輸入 GIS 或製圖軟體來展示之。

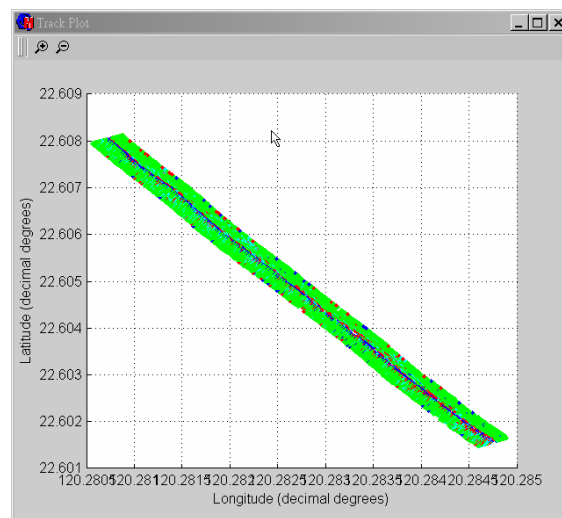


圖 3-5 單一測線底質分類圖

3.3 使用 QTC MultiView 分析示範測區底質之研究

3.3.1 使用 QTC MultiView 分析示範測區底質之問題

依照 QTC MultiView 資料理處流程分析 5 月 26 日~5 月 28 日的

Reson8125 側掃影像資料，發現以下問題：

1. 測量時為調整多音束測深系統至最佳化的參數，造成聲波波長 (Pulse Length) 的改變，而 QTC MultiView 依據不同波長給予不同參數、組別及特性 (File ID)，示範測區之 File ID 分為三組：02, 03 及 04，不同組別無法合併內插數值資料。可參照表 3-1：

表 3-1 聲波波長分組表

File ID	Pulse Length	File ID	Pulse Length
01	<10	18	<600
02	<15	19	<700
03	<20	20	<1000
04	<30	21	<1024
05	<40	22	<1200
06	<50	23	<1500
07	<60	24	<2000
08	<70	25	<2048
09	<80	26	<2400
10	<90	27	<3000
11	<100	28	<4100
12	<128	29	<5000
13	<20	30	<7000
14	<256	31	<8000
15	<300	32	<8192
16	<500	33	<10000
17	<512	34	>=10000

2. 此外在調整最佳化的參數過程中，由於同一條測線產生二個 File ID，造成測線分組不明無法順利合併。
3. 由於缺乏現場採樣資料比對，不同分組的底質分類結果無法接合比較與驗證。

3.3.2 使用 QTC MultiView 分析示範測區底質之結果

1. 不同聲波波長分組在測區的分佈如下，空白區域表示該測線波長分組有問題，無法與其他測線合併。

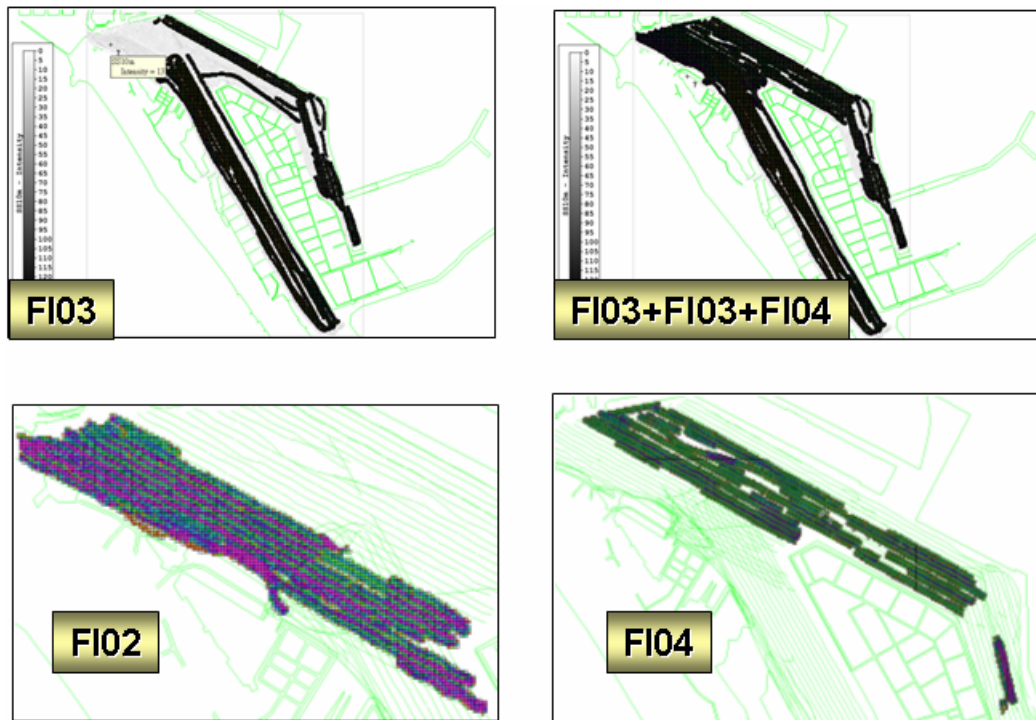


圖 3-6 FI02、FI03 及 FI04 分組分佈圖

2. 小範圍的海床底質變化性不,由 QTC 底質分類軟體轉換回 CARIS 的資料密度約為 10 公尺網格。
3. 由於缺乏海床底質採樣資料，得到海床底質分類成果，僅為相對。

3.3.3 多音束測深資料與側掃聲納影像比較

多音束測深音束張角 120 度，音束寬度 0.5 度 x1 度，測帶寬度 3.5 倍水深，圖 3-7 中央柔和彩色的色階圖為多音束測深的覆蓋區，二旁的顆粒狀的覆蓋區為側掃聲納影像色階圖，側掃聲納帶寬粗估約為水深的 7 倍，音束寬度約為 150 度。比對圖 3-8 側掃聲納影像在多音束測帶邊界有明顯的分界，可能是多音束測深系統加掛側掃系統的特性，由側掃系統量測的反射強度或位相差異數值都是相對而言，側掃聲納影像左側比右側多了一條線表示水深有劇烈變化。

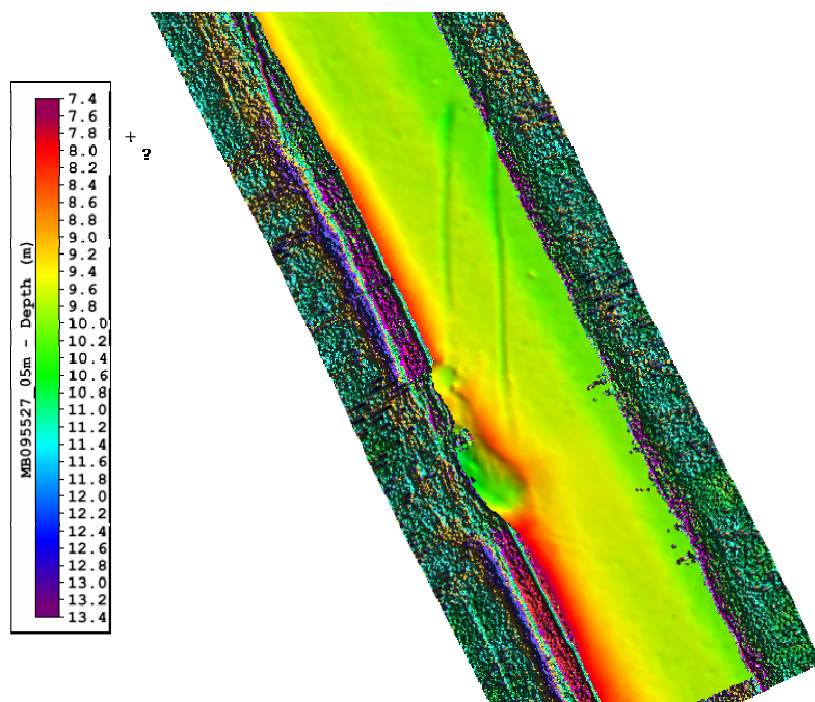


圖 3-7 多音束測深與側掃聲納單一測線成果比較

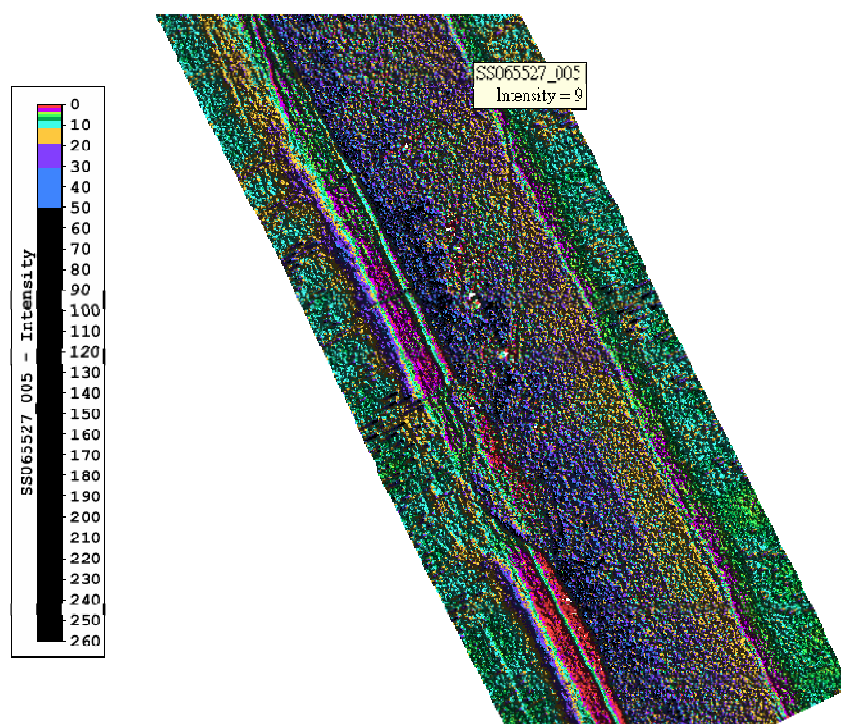


圖 3-8 側掃聲納單一測線影像

多音束測深值是絕對水深，不同測線的成果容易合併統計，側掃聲納影像則是相對值，不同測線可能因為測量參數的差異，而與其他測線有明顯的不同，可參照圖 3-9 深藍測線與其他平行測線完全不同，由於側掃聲納影像為相對值，合併測量參數不同的數值成果無法獲得正確的資訊，二條紅色斜線與並沒深藍測線交錯的圖形沒有任何意義。

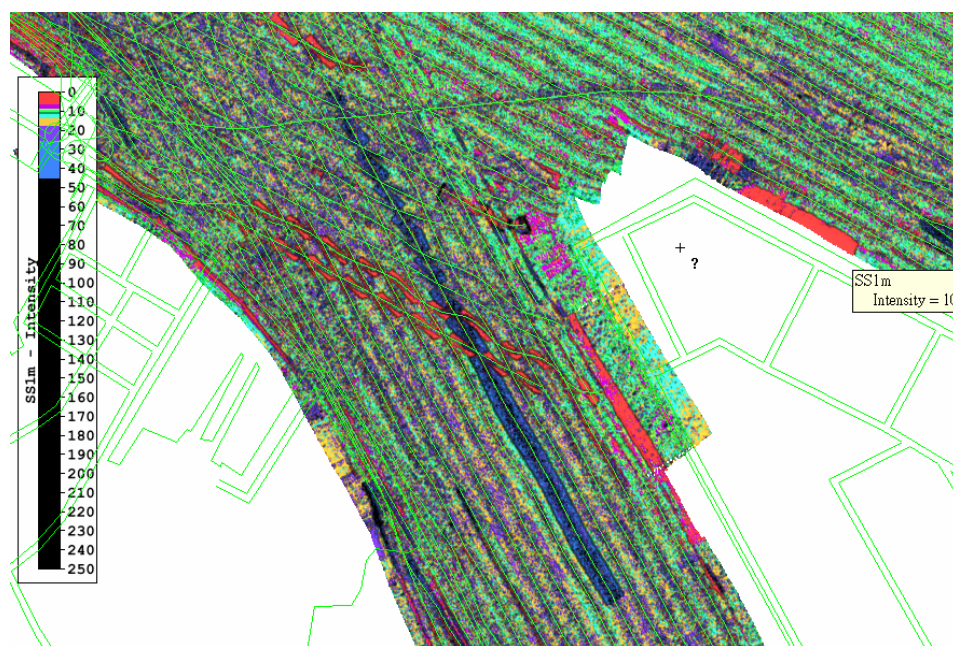


圖 3-9 側掃聲納測線合併色階圖

3.4 電子海圖地質分類方式

電子海圖使用二種複合式屬性定義地質特性，分為表層屬性及表層特性，簡單的說表層屬性為名詞，表層特性為形容詞，可參照附錄 E。

1. 表層屬性(NATSUR, Nature of surface)：屬性編碼 113，指大地或海床表面的地質屬性。通常採用複合式名詞，例如：細砂，共分為 13 種，可參照 3-2。其中泥、砂、岩石和岩盤屬於一般性描述，黏土、粉砂、礫石、小卵石及粗礫等分類具粒徑大小的意義。

表 3-2 表層屬性分類編碼

代碼	圖層名稱	圖層名稱
1.	Mud	泥
2.	Clay	黏土
3.	Silt	粉砂(粉土)
4.	Sand	砂
5.	Stone	岩石
6.	Gravel	礫石
7.	Pebbles	小卵石
8.	Cobbles	粗礫
9.	Rock	岩盤
10	Lava	火山岩
11.	Coral	珊瑚礁
12.	Shells	貝殼
13.	Boulder	巨礫

2. 表層特性(NATSUR, Nature of surface - qualifying terms)：屬性編碼 114，根據表層粒徑、形態及均質性等特性，用來形容海床表面複合式的地質屬性，共分為 10 種，可參照表 3-3。

表 3-3 表層特性分類編碼

代碼	圖層名稱	圖層名稱
1.	Fine	細
2.	Medium	中
3.	Coarse	粗
4.	Broken	破碎的
5.	Sticky	泥濘的
6.	Soft	軟性
7.	Stiff	黏稠的
8.	Volcanic	火山的
9.	Calcareous	石灰質
10	Hard	堅硬

嚴格而言，基本地形圖地質種類只有四類，自然環境基本資料庫分為九大類，電子海圖分為 120 種(12x10)，基本地形圖分類過於簡單，自然環境基本資料庫的地質分類是以目視判斷為基本原則，電子海圖的分類限於海床表面，較符合本案以聲學探測底質的目標。

第四章無線式船舶運動量測模組規劃及測試

4.1 無線感測區域網路(WSAN)

隨著行動通訊與衛星定位技術的發展與普及，國際上關於海洋量測的方式也已逐漸從傳統的定點測量進步到利用行動感測器(mobile agent)構成的感測網路(sampling networks)方式，以求同時獲得隨時間變化及空間變化的資訊，而更便於驗證預報模式，提升預報精度。而完成無線式船舶運動量測模組技術，建立便於安裝使用與維護的船舶運動量測技術，就是希望使國內現有以少數定點測站進行測報的方式，提升到以多數行動感測器(mobile agent)構成屬”面”的測報方式，不僅擴大了即時監控的範圍，也將有效提升海浪預報模式的精度，其成果將有助於大幅提昇海域航行安全及海上作業效率。

在感測網路的設計上，我們採用無線感測區域網路(Wireless Sensor Area Network；WSAN)，或簡稱無線感測網路 WSN(Wireless Sensor Network)。無線感測網路是由一到數個無線資料收集器以及為數眾多的感測器(Sensor)所構成的網路系統，而元件之間的通訊方式則是採用無線通訊方式，換句話說，我們可以任意擺放感測器或是無線資料收集器，不但省下可觀的佈線費用，而且極為方便。且具備 Ad hoc 功能，此為 P2P 的概念，每一點都可雙向傳輸，點數愈多允許傳輸的範圍可隨之擴大。基本上都是允許將感測訊號透過無線網路傳至網路上儲存，允許使用者上網瀏覽與觀察歷史紀錄。其架構如圖 4-1 所示：

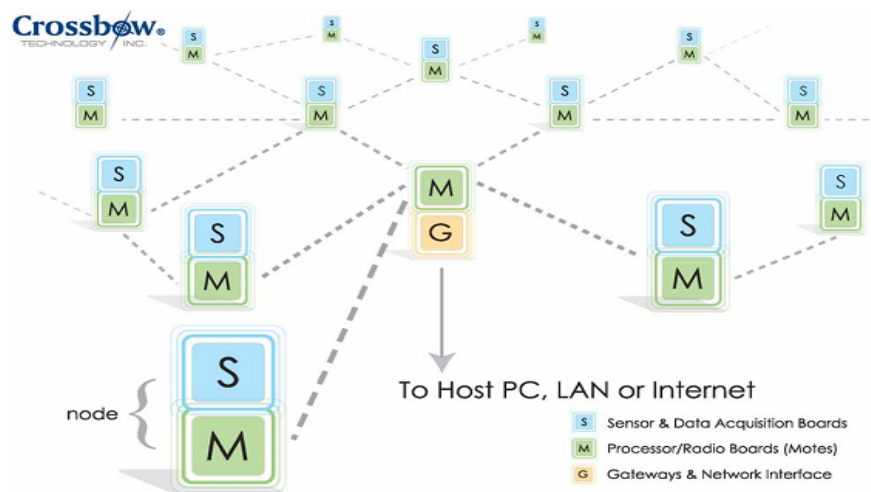


圖 4-1 無線感測網路 WSN(Wireless Sensor Network) 架構圖
(圖片來源：<http://www.xbow.com>)

4.2 三種無線傳輸技術規格之比較

在架構無線感測網路 WSN 中 802.11b、Bluetooth 與 ZigBee 此三者是目前在無線傳輸中最常見的三種技術，其中又以 Bluetooth 與 ZigBee 為著。圖 4-2 為 802.11b、Bluetooth 與 Zigbee 的比較。Bluetooth 與 ZigBee 都是用於短距離無線傳輸，因此最易處於競爭地位。由圖中可知，ZigBee 在 Power Profile、Complexity、Nodes/Master 中，大都表現突出；除了在 Data Rate 部分只有 250Kbps 為其不足，不適用於大量的資料傳輸，如多媒體檔案傳輸。

Feature(s)	IEEE 802.11b	Bluetooth	ZigBee
Power Profile	Hours	Days	Years
Complexity	Very Complex	Complex	Simple
Nodes/Master	32	7	64000
Latency	Enumeration upto 3 seconds	Enumeration upto 10 seconds	Enumeration 30ms
Range	100 m	10m	70m-300m
Extendability	Roaming possible	No	YES
Data Rate	11Mbps	1Mbps	250Kbps
Security	Authentication Service Set ID (SSID)	64 bit, 128 bit	128 bit AES and Application Layer user defined

圖 4-2 802.11b、Bluetooth 與 ZigBee 三者比較
(圖片來源：<http://doit.moea.gov.tw>)

ZigBee 的接取方式採直序展頻(Direct Sequence Spread Spectrum)技術，可使用的頻段有三個，分別是 2.4GHz 的 ISM 頻段、歐洲的 868MHz 頻段，以及美國的 915MHz 頻段，而不同頻段可使用的通道分別是 16、10、1 個。其傳輸速度最高為 250kbps，雖然傳輸速度不高，但是在產品的耗電量、可靠度上有相當不錯的表現。

ZigBee 傳輸速率低，使其傳輸資料量亦少，所以訊號的收發時間短，其次在非工作模式時，ZigBee 處於睡眠模式，在睡眠啟動時間只有 15ms，而設備搜索時間為 30ms。透過上述方式，使得 ZigBee 十分省電，透過電池則可支援 ZigBee 長達 6 個月到 2 年左右的使用時間。而 ZigBee 之 MAC 層採用 talk-when-ready 之碰撞避免機制，此機制為當有資料傳送需求時則立即傳送，每個發送的資料封包都由接收方確認收到，並進行確認訊息回覆，若沒有得到確認訊息的回覆就表示發生了碰撞，將再傳一次，以此方式大幅提高系統資訊傳輸之可靠度。一個 ZigBee 的網路最多包括有 255 個 ZigBee 網路節點，但透過 Network Coordinator 則整體網路最多可達到 6500 個 ZigBee 網路節點，再加上各個 Network Coordinator 可互相連接，整體 ZigBee 網路節點數目將十分可觀。不過，ZigBee 最大的特點在於其 Star、Mesh、Hybird 皆宜的網路架構。所以基本上 ZigBee 可以做所謂點對點的星狀圖傳輸，這樣的好處是可以減少產品傳輸上的複雜度。此外，ZigBee 也可以將結合 Star 與 Mesh 架構做結合，提供更具彈性的網路連結架構。

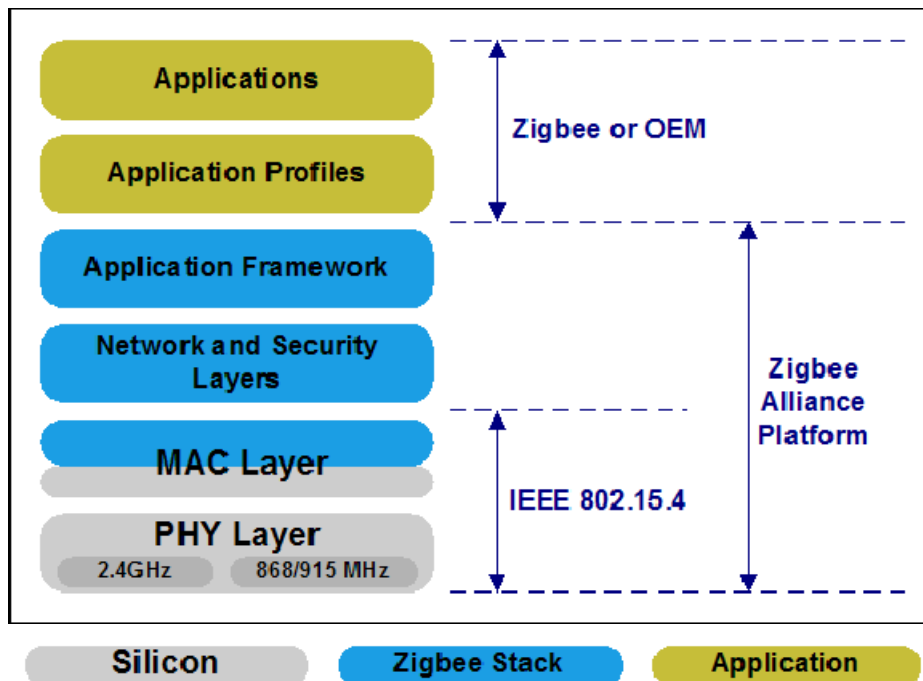


圖 4-3 IEEE802.15.4/Zigbee 應用產品標準架構

(圖片來源：<http://www.hometoys.com>)

本研究擬發展的無線式船舶運動量測模組是為了安裝於海巡署所屬巡防艇，譬如以 100 噸艇為例，該艇船型為硬稜滑航高速艇，其主要尺寸簡要摘錄如下：船長 28 公尺，船寬 6.8 公尺，滿載吃水 1.7 公尺，排水量 135 噸。考慮到船艇的數量、佈置上的便利性、耐用性、省電性及成本等問題，且運動量測模組主要是以無線的方式傳輸運動時序列訊號，非以傳輸大量圖文資料為目的。因此考量 ZigBee 具有低成本、低耗電、小體積、容易佈建等優點，本研究所擬發展的無線式船舶運動量測模組乃決定採用 IEEE802.15.4/Zigbee 技術，並在市販成品中尋求適合的元件。圖 4-3 所示即是 Zigbee 應用產品的標準架構。

4.3 以射頻 RF 無線傳輸元件測試

本研究在使用 Zigbee 之前，先以本所光機電實驗室所發展的射頻 RF 無線傳輸元件作為測試，測試 Crossbow 的加速度計、傾角計等感測器與此無線傳輸元件構成模組的情況下，是否正常運作。圖 4-4 及圖 4-5

所示分別是該射頻 RF 無線傳輸元件及所要測試的 Crossbow 加速度計及傾角計等感測器。至於感測器及無線傳輸元件所構成的模組，其感測器與發射元件之接合情形如圖 4-6 所示，而接收元件與電腦接合的情形則如圖 4-7 所示。

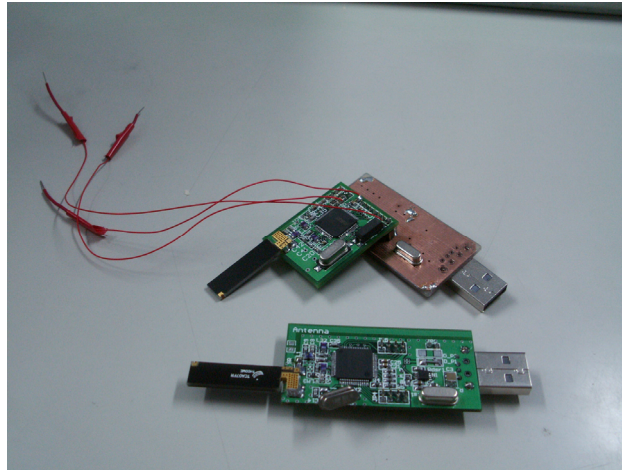


圖 4-4 射頻 RF 無線傳輸元件含發射及接收元件



圖 4-5 Crossbow 加速度計及傾角計等感測器

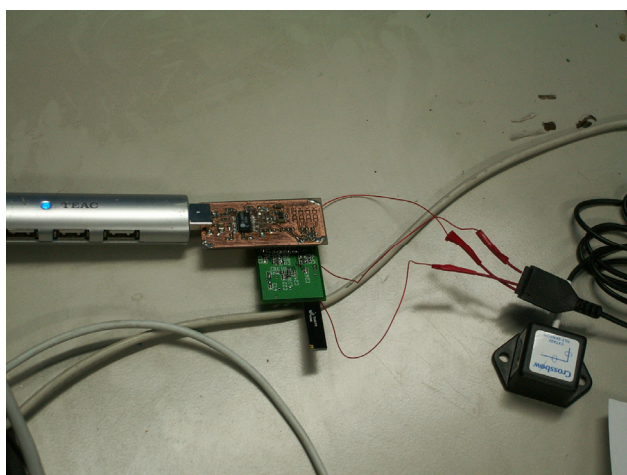


圖 4-6 感測器與射頻 RF 無線傳輸發射元件之接合情形

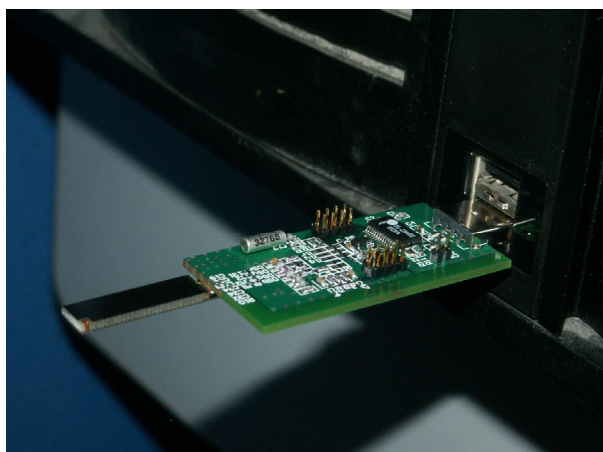


圖 4-7 射頻 RF 無線傳輸接收元件與電腦接合之情形

感測器與射頻 RF 無線傳輸元件所構成的模組，經 PC 作業系統 windows 內建之超級終端機可擷取得到訊號，其中一例如圖 4-8 所示。

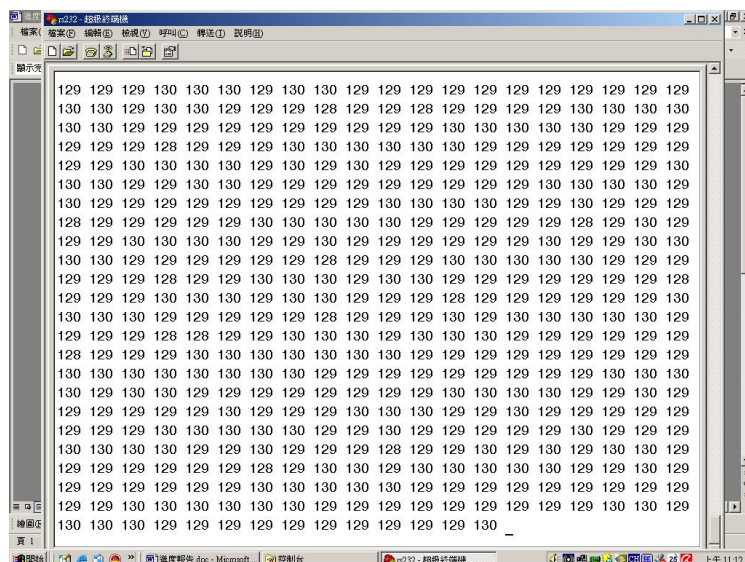


圖 4-8 以 windows 內建超級終端機擷取得到之訊號

於是經確認，以本所光機電實驗室所發展的射頻 RF 無線傳輸元件與 Crossbow 的加速度計、傾角計等感測器所構成的無線傳輸模組可正常運作，得到以無線傳輸的方式傳送並接收到感測器的電壓值。然後，本研究進入下個階段，以 Crossbow 的 Zigbee 無線傳輸元件進行測試。

4.4 以 Zigbee 無線傳輸元件測試

在使用 Zigbee 無線傳輸元件之前，需在 pc 上安裝作業系統 TinyOS，以便對硬體做安裝韌體、操控等動作。圖 4-9 即是 Crossbow 隨元件另附之光碟，內有 TinyOS 及 Crossbow 本身所研發硬體的驅動程式及監控軟體。圖 4-10 所示即為 TinyOS 的介面 cygwin。

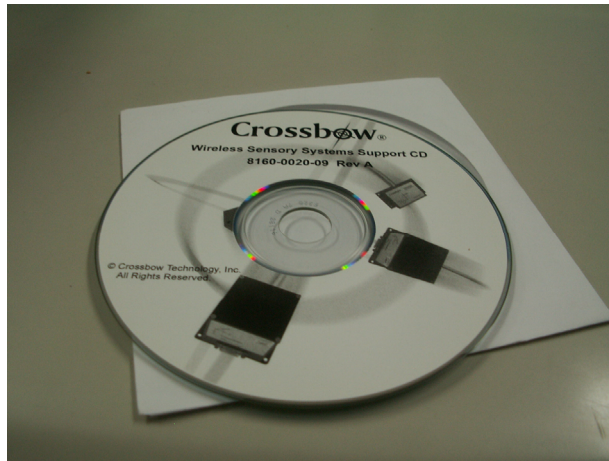


圖 4-9 Crossbow 所附光碟，包含 TinyOS、硬體驅動程式及監控軟體

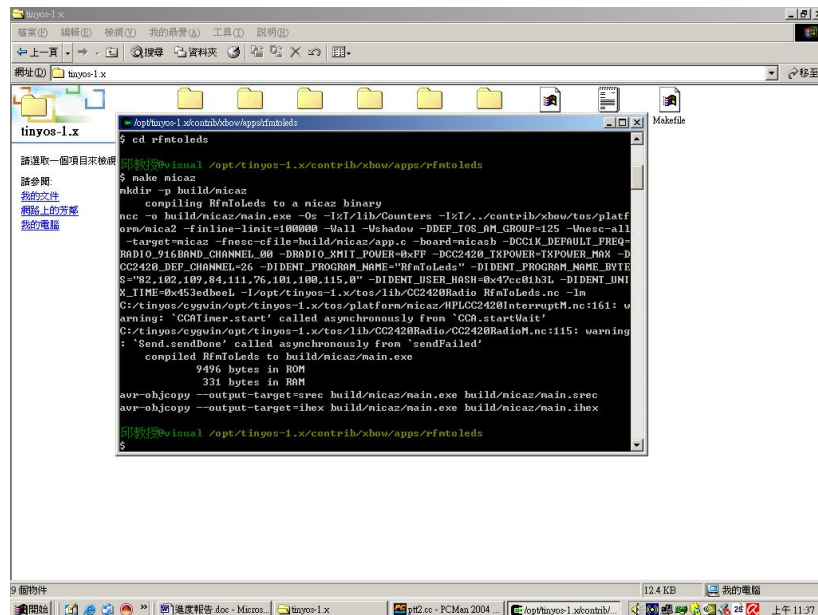


圖 4-10 TinyOS 的介面 cygwin

本研究在測試 Zigbee 無線傳輸元件的過程中曾發生一些問題，由於當初規劃採購的 DAQ 板是 MDA320 但 Crossbow 所附光碟中的程式只有 MDA300，沒有 MDA320 可以配合的程式，就造成無法驅動 DAQ 板的情形。由於 MDA320 算是較新的產品，網路亦無程式可用。所以求助於 Crossbow 的技術支援部門，依據 Crossbow 人員的建議，本研究以

採用 Crossbow 本身的軟體 MoteView 1.4C 來安裝 MDA320 的韌體，作為測試問題解決的方法。圖 4-11 所示就是 MoteView 的主程式介面。而圖 4-12 所示則是 MoteConfig 程式介面，可用此程式對 mote 做韌體安裝的動作。

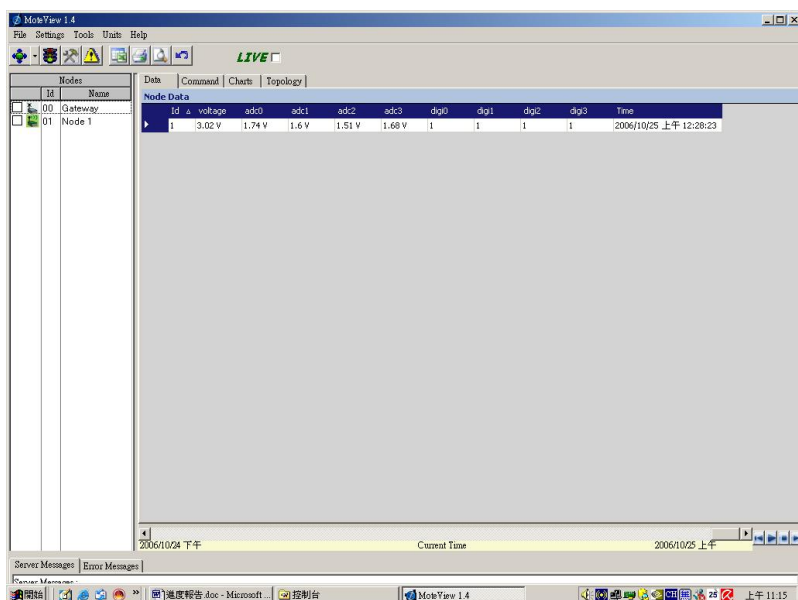


圖 4-11 MoteView 主程式介面

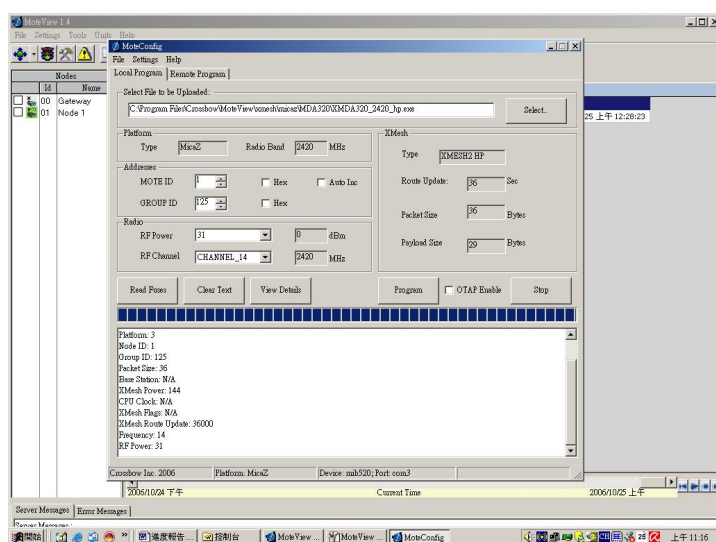


圖 4-12 MoteConfig 程式介面

經由 Crossbow 人員的技術支援，本研究終於可由 mote 中擷取到無線傳輸資料，成功讓感測器與 Zigbee 無線傳輸元件所構成的模組正常運作，完成測試。

4.5 提升無線傳輸取樣頻率之對策

在無線傳輸方面，本研究除了探討 Crossbow 元件外，也探討臺灣大學光機電實驗室吳文中教授領導的無線智慧型感測器網路研究團隊所發展的射頻 RF 無線傳輸元件之適用性。雖然針對 Crossbow 元件可用 MoteWork 來更改韌體，以符合本研究的取樣頻率需求；但基於長遠發展及成本的考慮，本研究傾向於尋求除了採購 MoteWork 以外的解決之道，亦即等待應用國內自主研發的元件。

目前臺灣大學光機電實驗室所研發的無線感測系統為以 Chipcon CC1010 為主要控制晶片的感測系統，其外觀圖片即如前述 3.1 節所示之 RF 元件，而該研究團隊目前的研發方向即在於以 CC1010 的經驗基礎，改以 CC2430 的 IC 晶片[16]，而 CC2430 即為 Zigbee 的模組晶片。因此與光機電實驗室的研究團隊合作，我們將不只能在軟硬體上得到直接的技術支援，系統成本較經濟，也可期待在日後的發展上，讓我們的感測系統隨該團隊的技術發展同時獲得提升。

圖 4-13 為從該系統中所截取出來，數字由 0 增加到 99，每次加一。圖中以 0.2 秒為一個週期，亦即等同於有 500Hz 的取樣頻率。當然，當多節點時可能會有頻寬不足的問題，然而此一問題將能由修改感測器上的資料串長度獲得解決，同時可以符合本研究的基本需求：多節點、至少 100Hz 的速度。而且在韌體及後段接受資料的軟體方面，臺灣大學光機電實驗室的研究團隊皆有豐富的經驗，韌體修改的能力與其後端軟體也已成熟。在軟硬體的技術支援上，預期可以獲得滿意的解決。此外，該研究團隊也運用 Java 程式建立了一個後端控制系統，其系統有著等同於 MoteView 在後端控制的功能。收集與整理各個感測子的資

料、具備自動儲存功能、提供使用者閱覽過去資料的功能、且為圖形化介面。該系統的詳細內容可詳見於文獻[17]第三章後端資料收集程式。在傳輸距離方面，依據我們會做測試的海巡船舶之尺寸，所需布置的感測器與中心距離約在 10 至 20 公尺之間，而該團隊之測試結果，顯示在 20 公尺內的傳輸是沒有問題的，因此距離本身應不是太大問題。在 DAQ 方面，目前現有的版本是 8 channel、10bits 的 ADC；同時該團隊也正在研發 16bits 的 ADC。在 DAQ 這個部份，也應無大問題。後續只要把該系統做適當的修改，應是可以符合我們導入使用所需的條件。無線感測子也可以改裝以電池供電，在布置上也不會與 MICA 差很多。後續待臺灣大學光機電實驗室的研究團隊完成研發之後，即可導入本研究之系統內並進行測試。

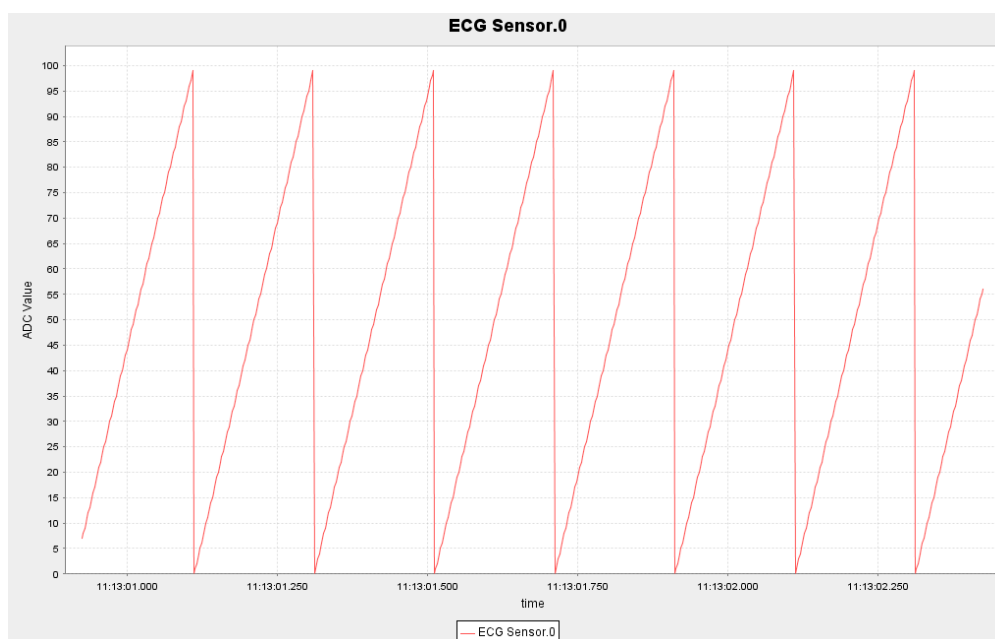


圖 4-13 傳輸取樣頻率測試

第五章 結論與建議

- (1) 有效運用本計畫所發展之水下載具，利用攝影機之運動，獲取大範圍影像，配合載具之定位資訊，將十分有助於水下結構物觀測工作。載具先由操作人員引導至起始區域，觀測過程中操作者立於堤上，由於在岸上的人機界面會顯示載具之即時狀態，且載具之移動緩慢，操作者跟隨載具之運動而移動，啟動狀態估測器及運動控制器，載具下潛至觀測路徑之路由點起點，依序追蹤各路由點。航行速度約為 0.2m/s，以觀測路徑全長 200m 為目標，則全程觀測取樣歷時約 16 分鐘。所得之影像數據，可與側掃聲納、多聲束聲納或潛水人員之探測數據互相參考，影像數據並可經由影像拼嵌技術，而得到水下物體之高解析度、大範圍影像。
- (2) 以多音束測深系統採用聲學方式來進行海床底質分類工作，需注意儘量保持測量作業期間，系統之設定(尤其是波長)應保持一致，若有改變則需依據改變範圍以分區進行底質分類。部分多音束測深儀會依據水深及底質等特性之不同，而自動改變系統之設定，此類系統並不適用於聲學底質分類法。聲學底質分類法之成果易受水深雜訊資料、船隻姿態過大、資料處理過程之參數設定等之影響。
- (3) 完成無線式船舶運動量測模組整體規劃，決定選用 IEEE 802.15.4/Zigbee 技術，並在市販成品中尋求適合的元件，以 Crossbow 產品為標的進行系統建置之探討及射頻 RF 無線傳輸元件與 Crossbow 感測器構成的無線傳輸模組測試，並完成以 Crossbow 的 Zigbee 無線傳輸元件與感測器構成的無線傳輸模組之測試。

參考文獻

1. M. Caccia and G. Veruggio, "Modeling and Identification of Open-Frame Variable Configuration Unmanned Vehicles", *IEEE Journal of Ocean Engineering*, VoL.25, No.2, April 2000. (遙控水下載具建模及系統鑑定)
2. F. S. Hover, M. A. Grosenbaugh, M. S. Triantafyllou, "Calculation of Dynamic Motions and Tensions in Towed Underwater Cables," *IEEE Journal of Ocean Engineering*, VoL.19, No.3, pp.449-457, 1990. (拖曳式水下載具纜線動力特性之探討)
3. W. Koterayama, S. Yamaguchi, T. Yokobiki, J. H. Yoon, H. Hase, "Space-time Measurements on Ocean Current and Chemical Properties with the Intelligent Towed Vehicle 'Flying Fish'," *IEEE Journal of Ocean Engineering*, VoL.25, No.1, pp. 130-138, 1990. (拖曳式水下載具系統設計及應用實例)
4. F. C. Chiu, J. Guo, C. C. Huang, J.P. Wang, "On the Linear Hydrodynamic Forces and the Maneuverability of an Unmanned Untethered Submersible with Streamlined Body (2nd report : Lateral Motion)," No. 182, *Journal of the Japanese Society of Naval Architecture*, pp. 151-159, 1997. (in Japanese) (巡航式水下載具流體性能設計及建模)
5. W.C. Lam and Tamaki Ura, "Non-Linear Controller with Switched Control Law for Tracking Control of Non-Cruising AUV", IEEE, *AUV 96 Monterey*, California, June3-6, pp.175-182, 1996. (巡航式水下載具性能設計及軌跡控制問題之探討)
6. J. Guo, F.C. Chiu, C.C. Huang, "Design of a Sliding Mode Fuzzy Controller for the Guidance and Control of an Autonomous Underwater Vehicle," *Ocean Engineering*, Vol. 30, No.16, pp. 2137-2155, 2003. (自主式水下載具路徑控制器之設計與性能測試)

7. J.-J. E. Slotine, W. Li, *Applied Nonlinear Control*, 1991, Prentice-Hall.
(關於滑動模式及其他非線性控制方法的介紹)
8. D.R. Yoerger, J. G. Cooke, J.-J. E. Slotine, "The Influence of Thruster Dynamic on Underwater Vehicle Behavior and Their Incorporation Into Control System Design," *IEEE Journal of Ocean Engineering*, Vol.15, No.3, July 1990. (水下載具螺槳性能設計及控制問題之探討)
9. J. Akizono, et. al., "Future View of Advance Investiagion and Construction Work in Port Area," Symposium on Underwater Technology, pp. 355-362, Taipei, 2004. (日本海港及空港研究所在水下機器人應用的簡介)
10. H. Kondo, T. Ura, Y, Nose, "Development of an Autonomous Underwater Vehicle, Tri-Dog 1, Toward Practical Use in Shallow Water," *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 13, No. 2, pp. 205-211, 2001. (自主式水下載具在水下觀測的應用構想)
11. Ijima, T., T. Takahashi and H. Sasaki " Application of radars to wave observations", *Proceedings of 11th Conference on Coastal Engineering*, Vo.30, No.1, pp10-22, 1964
12. Takekuma, K., and T. Takahashi " On the evaluation of sea spectra based on the measured ship motions", 西部造船會會報 45 號, pp.51-57, 1973
13. 邱逢琛, 廖元進 "A Practical Method for Estimating Ship Motions of High-speed Crafts in Oblique Waves", 日本造船學會論文集 174 號, 1993/12 (in Japanese)
14. F.C. Chiu, Y.H. Lin, C.C. Fang, S.K. Chou, " Prediction of Nonlinear Motions of High-speed Vessels in Oblique Waves", 23rd Symposium on Naval Hydrodynamics, Val De Reuil, France, 2000/9

15. F.C. Chiu, W.C. Tiao, Y.H. Lin, C.C. Fang, "Prediction of Nonlinear Motions and Wave Loads of High-speed Monohulls in Oblique Waves," The Seventh International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2003), Naples, Italy, 2003/10
16. International Hydrographic Organization, April 1998, IHO Standards for Hydrographic Surveys, 4th Edition, Special Publication No. 44.
17. U.S. Army Corps of Engineers, Jan 2002, Engineering and Design Hydrographic Surveying.
18. Shiahn-Wern Shyue, K. C. Yang, OCT 2002, Investigating Terrain Changes around Artificial Reefs by Using the Multibeam Echo Sounder, ICES Journal of Marine Science 59, 338-342.
19. 鄭勝文，邱逢琛，蔡進發，郭振華"「自主式水下載具整合型計畫」成果報導"，*科學發展月刊*，第二十六卷，第一期, 1998。（自主式水下載具系統設計及導航控制之成果介紹）
20. 郭振華，邱逢琛，林明坤，“自主式水下載具長基線聲波定位系統之淺海域性能測試”，*中國造船暨輪機工程學刊*，第十八卷第四期，pp. 13-24，1999。（長基線聲波定位系統之建置與性能測試）
21. 郭振華，邱逢琛，賈景光，“自主式水下載具整合型導航系統之研究”，*中國造船暨輪機工程學刊*，第十九卷第三期，pp.33-42，2000。（自主式水下載具整合型導航系統之建置與性能測試）
22. 郭振華、蔡進發、許峰源、林振濱，“具有比例-微分及滑動模式架構之水下遙控載具導航控制器設計”，*中國造船暨輪機工程學刊*，第二十二卷第一期，pp.45-52, 2003。（遙控水下載具路徑控制器之設計與性能測試）
23. 邱永芳等，“蘇澳港防波堤改善工程規劃”，台灣省交通處港灣技術研究所研究報告，1997。

24. 高石敬史等 ”船載式波高計之性能—空中超音波式與 Tucker 式之比較”，船舶技術研究所報告 20 卷 5 號，PP1-20，1983
25. 平山清次”由航行中船體運動即時推估海洋波譜之研究（之二）：方向波譜的推估”，關西造船協會誌 204 號，pp.21-27, 1987
26. 井關俊夫等”由船體運動推估方向波譜之研究”，日本航海學會論文集 86 號，pp.179-188，1992
27. 井關俊夫等”由船體運動推估方向波譜之研究—II ”，日本航海學會論文集 87 號，pp.197-203，1992
28. 井關俊夫等”Bayesian Estimation of Directional Wave Spectra Based on Ship Motions”，日本造船學會論文集 172 號，pp.17-25, 1992
29. 井關俊夫等”Bayesian Estimation of Directional Wave Spectra Based on Ship Motions – II ”，日本造船學會論文集 176 號，pp.99-105, 1994
30. 平山青次等”方向波譜的複合型船上計測法的開發”，日本造船學會論文集 180 號，pp.295-309, 1996
31. 平山青次等”方向波譜的複合型船上計測法的開發（之二）：新開發方向波浪浮標之驗證”，日本造船學會論文集 182 號，pp.217-229, 1997
32. 吉元博文等”航行船舶遭遇方向波譜推估法之研究”，日本造船學會論文集 1196 號，pp.107-116, 1994
33. 齊藤公男等”從船體運動推估波浪資訊之研究：應用非線性規劃法的波譜推估”，日本造船學會論文集 182 號，pp.231-237, 1997
34. 齊藤公男等”從船體運動推估波浪資訊之研究(之二):波譜推估時頻率轉換之處理”，日本造船學會論文集 184 號，pp.163-169, 1998
35. 高石敬史等”船載式波浪資訊提供系統的開發”，日本造船學會論文集 192 號，pp.171-180, 2002

36. 薛憲文，1997，應用測量學講義。
37. 公共工程委員會，2000，港灣工程施工綱要規範。
38. 交通部運輸研究所港研中心，2003，港灣水域水深測量(草案)。
39. 張功武，1999，單音束測深之技術品管與流程品管，中山大學海洋環境及工程研究所碩士論文。
40. 公共工程委員會，2000，港灣工程施工綱要規範。
41. 內政部，2003，領海及鄰接區海域基本圖測量規範(草案)。

附錄一 期末報告簡報

水下自動化監測作業技術之研發(2/4)

著者：邱永芳、郭振華、薛憲文、邱逢琛

簡報：蔡金吉 助理研究員

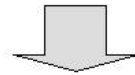
交通部 運輸研究所 港灣技術研究中心

研究目的

- 本計畫為發展水下監測作業的相關技術，提昇水下工程施工品質與施工管理並期減少環境衝擊之目標。

研究方向

- 計畫 1：水下結構物自動檢測系統之建立
- 計畫 2：淺水域多音束量測水深技術之建立
- 計畫 3：以船舶運動推算臺灣海域即時波浪場之模式建立



水下結構物自動檢測系統之建立

■計畫目標：

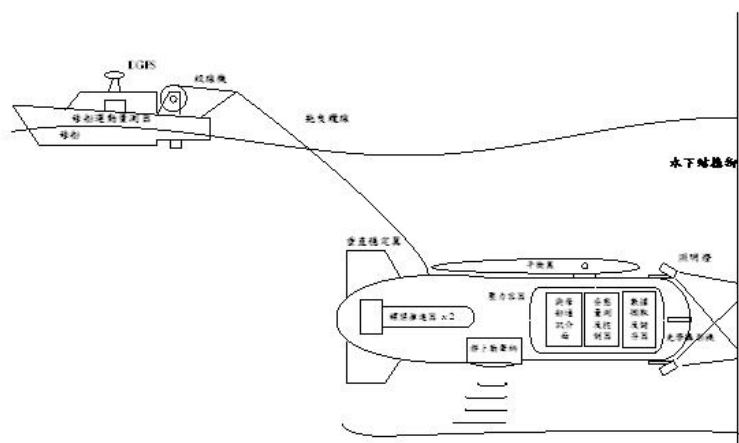
以國內港灣工程之需求為主要考量，設計並製作一具小型水下機器人系統，期能減少潛水人員工作負荷，或在惡劣工作環境下代替潛水人員施行海中檢測、資料蒐集、施工作業等工作。

■研究內容：

主要包含水下機器人系統設計規畫、導航控制、影像處理、及虛擬實境之應用等。在功能設計上則以港灣水下結構物之表面檢測業務及簡易水下施工需求為主要考量。

■研究方法：

結合AUV及ROV的技術優勢，建立一具自主式水下拖曳載具，以纜線來提供電源及通訊，可以使用人為控制的方法在水中定點做徘徊控制。具有流線外型，可以自動控制技術操控其巡航姿態及深度，在港內、低水流、小範圍內之作業時以ROV模式操作，在港外或大範圍作業時則以拖曳載具模式操作。



系統設計概念

設計規格

項目	規格
外型尺寸	0.9m(L)×0.6m(W)×0.6m(H)
重量	40kg空氣中重量
操作深度	100 m
航速	最大0.8 m/s
配重	3 kg (可調整)
推進器	4x1 hp
電動機械轉盤	1個
感測元件	視訊攝影機;影像聲納
導航元件	都卜勒聲納
支援系統	電源：110VAC, 50/60 Hz, 10 Amps ：220VAC, 50/60 Hz, 20 Amps 交直流電源供應器：1個 運輸：小型工作船或吊車

■ 94年度完成工作項目：

1. 完成載具系統運動數學模式之建立
2. 完成載具系統運動模擬計算程式的開發
3. 完成載具系統動力學分析及其原型的初步設計

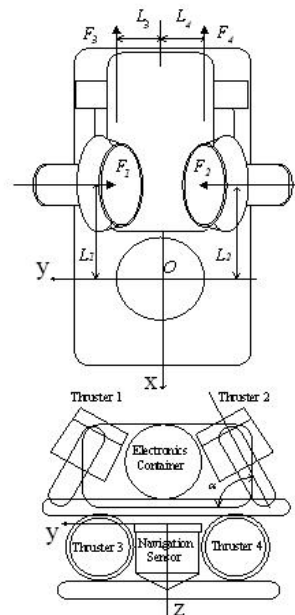
■本年度工作項目

1. 載具深度與姿勢控制理論方法之建立
2. 載具深度與姿勢控制之模擬驗證
3. 載具本體設計與製作

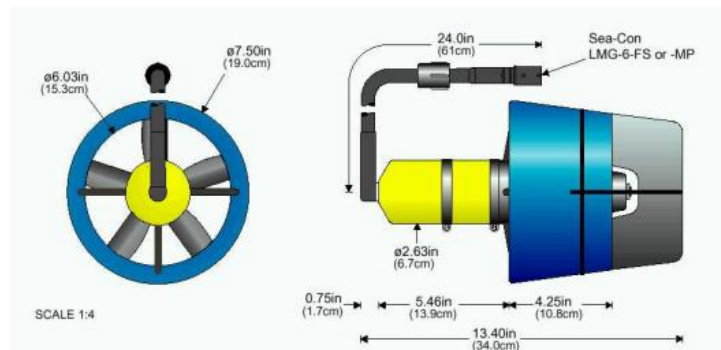
主要依據第一年步驟2所探討的結果，採用適宜之外形尺寸以進行系統原型的細部設計，並進行耐壓外殼、支架之製作組裝。

由於設計開框架載具使用四具螺槳推進器，因此在不同的運動方向及運動速度下，會導致不同的動態反應，且各維度之運動模式所使用的螺槳推力配置各不相同，在參數估測的程序中，需針對各維度運動，分別設計參數估測方法。本計畫提出一個最小平方差估測方法，用來估算載具之縱移、橫移、平擺及起伏等運動參數，並使用數值模擬方法，鑑定運動方程式之參數，建立其數學模型。

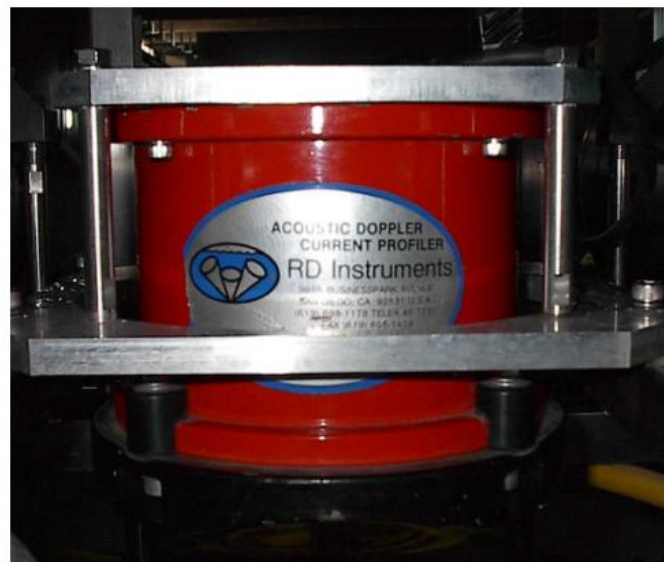
未來載具硬體完成之後，將以實驗方法，鑑定運動方程式之參數，建立其數學模型。



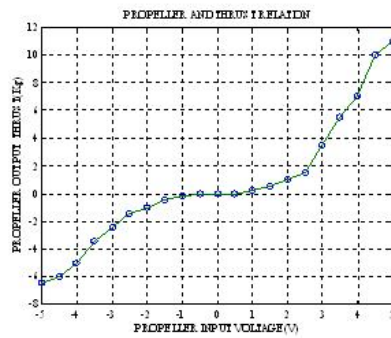
螺槳、導航儀器及壓力容器之配置圖



螺漿尺寸圖

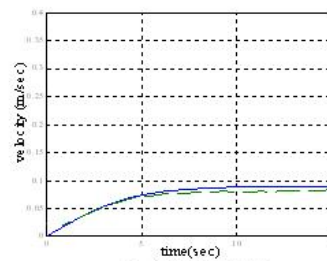
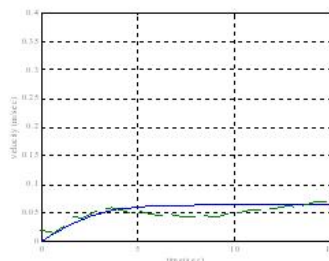
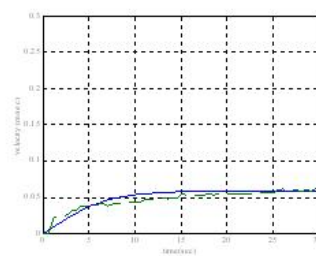
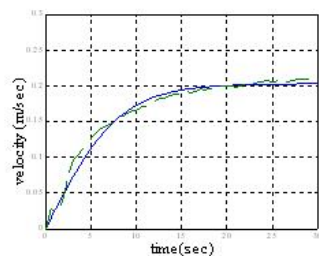


都卜勒聲納



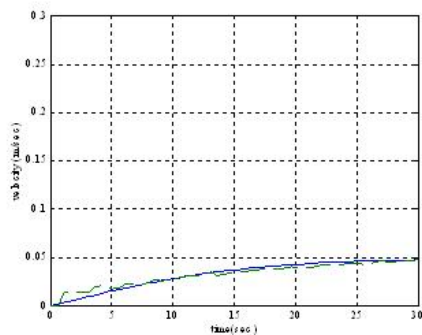
電壓(V)	-5	-4.5	-4	-3.5	-3	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5
推力(Kgf)	-6.5	-6	-5	-3.5	-2.5	-1.5	-1	-0.5	-0.2	0
電壓(V)	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1	0.5
推力(Kgf)	11	10	7	5.5	3.5	1.5	1	0.5	0.2	0

螺槳推力曲線及數據

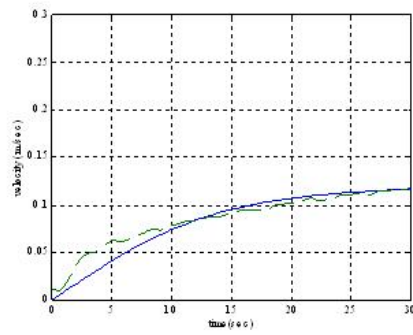


參數鑑定結果與真實系統之步階響應比較

(虛線為真實系統，實線為鑑定所得系統)



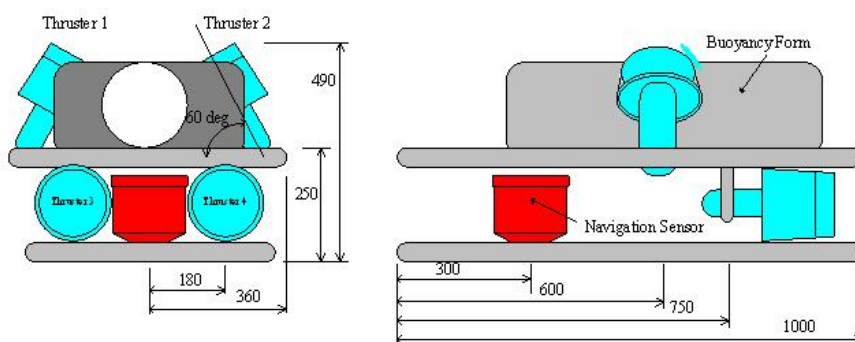
起伏向上運動模擬



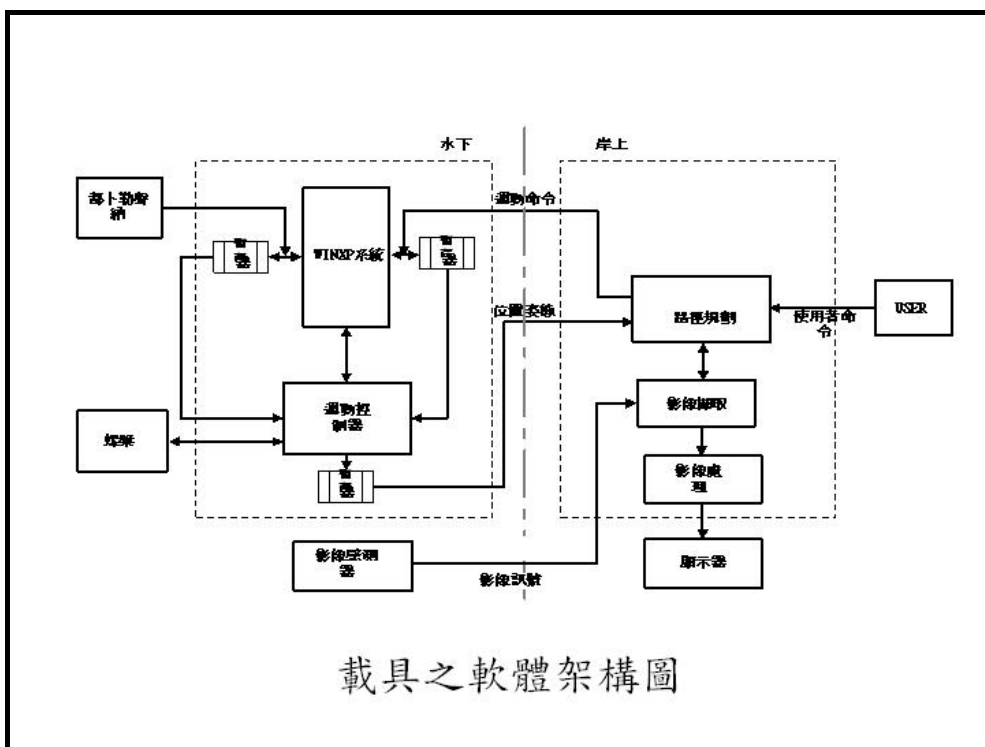
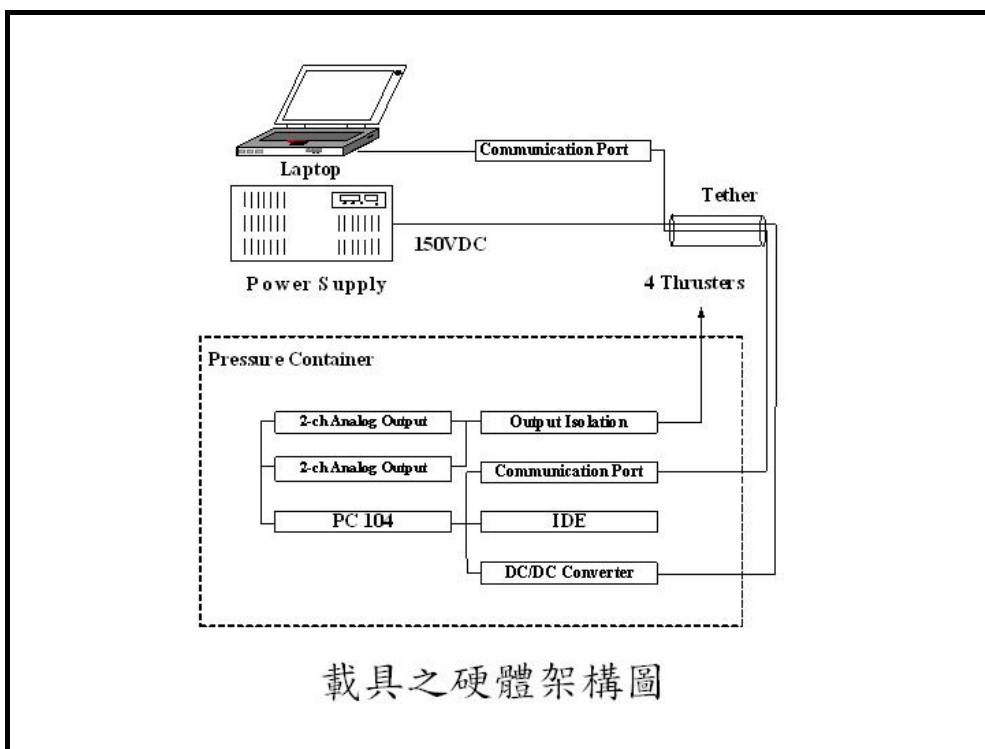
起伏向下運動模擬

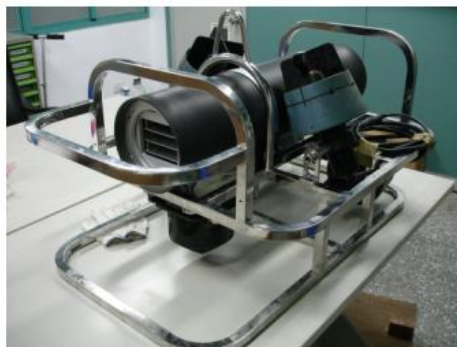
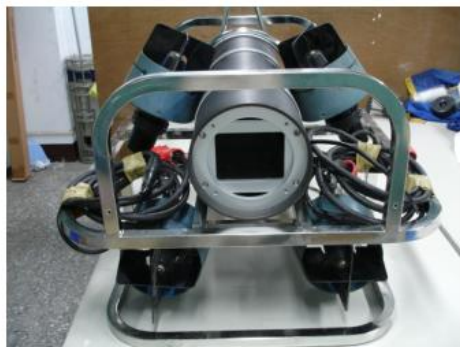
參數鑑定結果與真實系統之步階響應比較

(虛線為真實系統，實線為鑑定所得系統)



載具外型與主要尺寸圖





載具製作



連線測試-操縱桿

淺水域多音束量測水深技術之 建立

■計畫目標：

本計畫目標在研究我國之各國際商港港域全覆蓋水深、回淤率、底質分佈，藉以因應船舶大型化之國際港灣水域之競爭，進入WTO 之海事及疏浚工程國際化，避免工程糾紛。

■研究內容：

本計畫為研究多音束測深系統在港域及近岸水深測量之技術建立，漂沙回淤率探討，及底質分類技術之建立，港灣水域之水深及底質資料庫建立技術研究，與相關海測人員培訓系統之建立等。

■ 94年度完成工作項目：

1. 完成進行多音束測深示範作業
2. 完成多音束測深規範擬定
3. 完成多音束測深資料庫建立研究
4. 進行多音束測深技術在港灣工程施工之應用探討。

■ 本年度工作項目

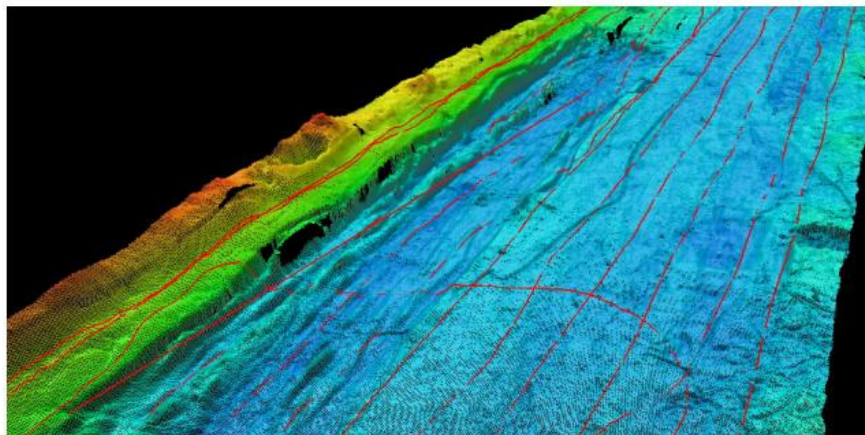
1. 執行多音束測深示範作業
2. 舉辦多音束測深規範專家會議
『多音束測深規範(草案)』採用IHO的SP-44『國際海洋測量標準』第四版之綱要為藍本
3. 開設多音束測深技術及規範說明訓練班
4. 比較示範作業的多音束測深成果，估算回淤率，提出回淤率計算及分析
5. 探討以聲波方式進行底質分類技術
6. 探討建立港灣水域底質資料庫的方式

執行多音束測深示範作業

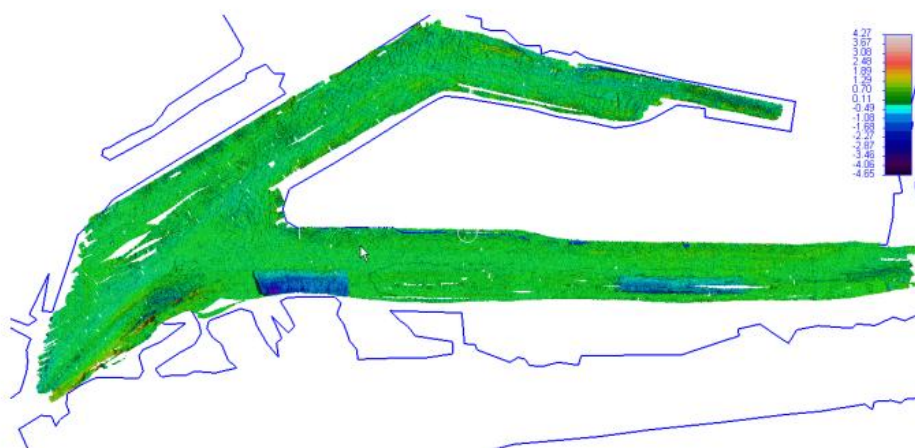
- 單音束及多音束測深成果比較
- 多音束測深成果精度檢核
 - ★ 相對精度檢核
 - ★ 絕對精度檢核
- 二次多音束測深成果比較
 - ★ 水深變化量及回淤率比較
 - ★ 剖面比較



高雄港示範作業區



單音束與多音束測深網格比較圖



二次多音束測深成果比較圖



開設多音束測深技術及規範說明訓練班

「多音束測深教育訓練」課程表

日期：95 年 9 月 13 日~95 年 9 月 15 日(共三個梯次)

上課地點：中山大學海工系

實習地點：高雄港或附近海域

時 間	課 程	主 講 人	助 教
09:00~09:30	報 到		
09:30~09:50	課程概述與業務需求調查		
09:50~10:20	多音束測深技術	薛憲文 教授	張功武 助理研究員 吳泓銳 助理研究員
10:20~10:30	休 息		
10:30~12:30	多音束測深海上實習	薛憲文 教授	張功武 助理研究員 吳泓銳 助理研究員
12:30~13:30	午 餐		
13:30~14:30	多音束測深規範	薛憲文 教授	張功武 助理研究員 吳泓銳 助理研究員
14:30~14:40	休 息		
14:40~15:40	多音束測深資料處理	薛憲文 教授	張功武 助理研究員 吳泓銳 助理研究員
15:40~16:30	研究與討論		





探討以聲波方式進行底質分類 技術

■ 示範測區聲學探測結果分析比較

- ★測區背景資訊及儀器規格及設定參數
- ★多音束測深資料與側掃聲納影像比較
- ★使用聲學探測海床底質的可能性

■ 底質分析理論及方法

■ 使用QTC MultiView分析示範測區底質之研究

- ★使用QTC MultiView分析示範測區底質之問題
- ★使用QTC MultiView分析示範測區底質之結果

QTC (Quester Tangent Corporation)

QTC View軟體可以配合硬體接收單音束測
深之回波強度，提供海上即時底質分類

QTC IMPACT軟體則以後處理的方式，將
單音束的回波強度進行海床底質分類

QTC Multiview軟體針對多音束測深系統進
行海床底質分類工作

QTC Sideview軟體針對側掃聲納進行海床
底質分類工作



6. 探討建立港灣水域底質資料庫的方式

■ 底質資料分類規範及編碼探討

★基本地形圖地質分類方式

★自然環境基本資料庫地質分類方式

★電子海圖地質分類方式

■ 海床底質資料庫



底質資料庫格式

欄位名稱	資料型態	長度	欄位說明	資料內容說明
SCID	流水號		資料編號	唯一不可重複
SCDate	日期/時間		測量日期及時間	
SCLatD	整數	2	緯度(度)	0~89
SCLatM	整數	2	緯度(分)	0~59
SCLatS	數字	5.3	緯度(秒)	0~59
SCLat	文字	1	南/北半球	S or N
SCLongD	數字	3	經度(度)	0~180
SCLongM	整數	2	經度(分)	0~59
SCLongS	數字	5.3	經度(秒)	0~59
SCLat	文字	1	東/西經	E or W
SCPulse	整數	2	波長代碼	1~34
SCClass	整數	2	Class代碼	
SCClassName	文字	10.2	Class名稱	
SCClassAcc	整數	3	Class精度	
SCDepth	數字	6.2	水深	
SCLine	文字	32	測線名稱	
SCBoat	文字	32	船名	

以船舶運動推算臺灣海域即時波浪場之模式建立

■計畫目標：

計畫目標在於探討利用海巡船舶運動反算分析波浪的方法，建置台灣海域即時波浪場測報系統之可行性及其雛形規劃，並建立其相關核心技術，以作為建置該系統之基礎。而有助於提昇海域航行安全。

■研究內容：

執行波浪反算分析方法及程式之研發；進行無線式船舶運動量測模組之研發；進行台灣海域波浪全貌分析方法及程式之研發；進行利用海巡船舶運動推算台灣海域即時波浪場之系統雛形規劃與模擬。

■研究方法：

進行海巡船舶100噸艇的運動反應函數的建立；依據該運動反應函數，進一步進行短峰不規則波中船體運動分析；然後採用二層隱藏層的類神經網路建立波浪反算模式，並利用前述步驟所獲短峰不規則波中船體運動分析結果訓練類神經網路，使之成為可從船體運動結果反算遭遇波浪之有義波高、週期及波向角之有效工具。

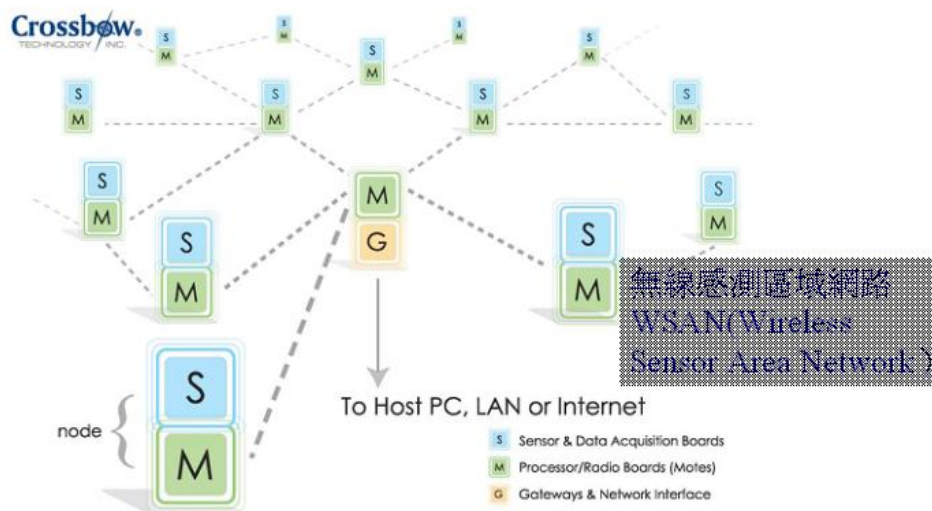
■ 94年度完成工作項目：

1. 完成船舶運動反應函數分析
2. 完成短波頂不規則波中船體運動分析
3. 完成建構類神經網路模式，從船舶運動反應反算遭遇波浪之有義波高、週期及波向
4. 完成模式驗證與評估

■ 本年度工作項目

1. 加速度感測及無線傳輸模組建構
2. 橫搖角、縱搖角感測及無線傳輸模組建構
3. 船舶運動演算及統計分析模組建構
4. 系統驗證與評估

無線式船舶運動量測模組規劃



三種無線傳輸技術規格之比較

Feature(s)	IEEE 802.11b	Bluetooth	ZigBee
Power Profile	Hours	Days	Years
Complexity	Very Complex	Complex	Simple
Nodes/Master	32	7	64000
Latency	Enumeration upto 3 seconds	Enumeration upto 10 seconds	Enumeration 30ms
Range	100 m	10m	70m-300m
Extendability	Roaming possible	No	YES
Data Rate	11Mbps	1Mbps	250Kbps
Security	Authentication Service Set ID (SSID)	64 bit, 128 bit	128 bit AES and Application Layer user defined

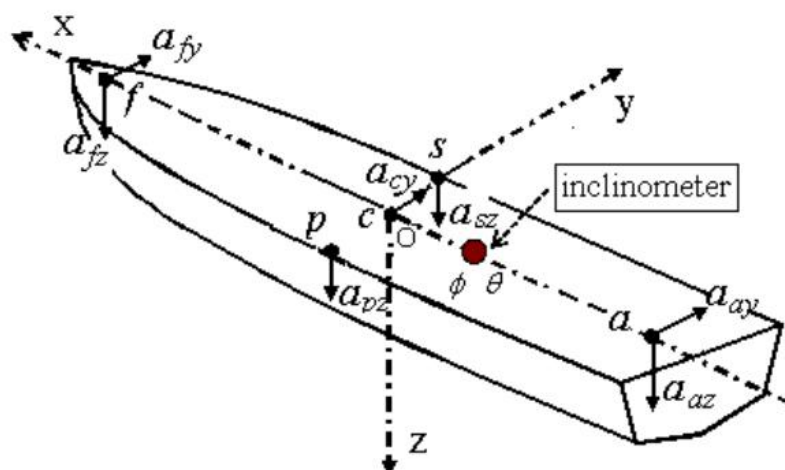
IEEE 802.15.4/ZigBee特色： 傳輸速度不高(256kbps)，但是耗電量低、運作時間長（透過電池可持續達6個月到2年左右）、可靠度佳。

模組元件

類別	Crossbow 的產品型號
Sensor 三軸加速度計	CXL04LP3
Sensor 單軸加速度計	CXL04LP1
Sensor 雙軸傾角計	CXTA02
DAQ Board	MDA320CA
Mote	MPR2400CA
Gate	MIB520CA

選用了Crossbow 的 Zigbee 應用產品：Sensor、DAQ Board、Mote及Gate

感測器模組佈建位置示意圖



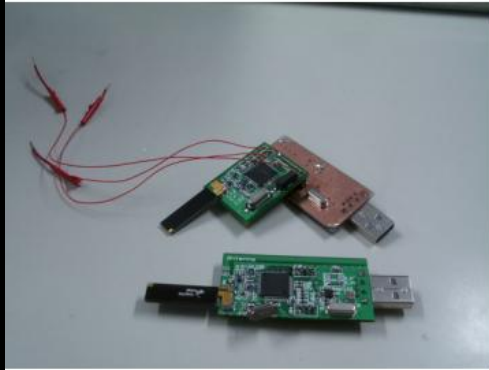
S 雙軸傾角計 + DAQ + M



系統模組



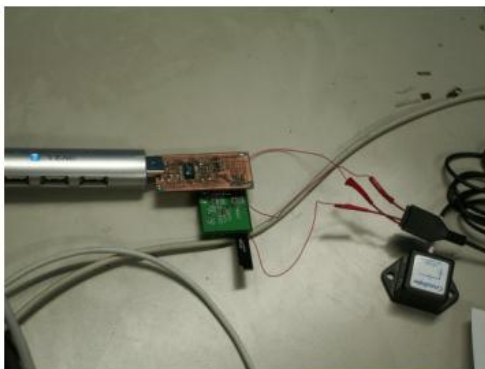
以射頻RF無線傳輸元件測試



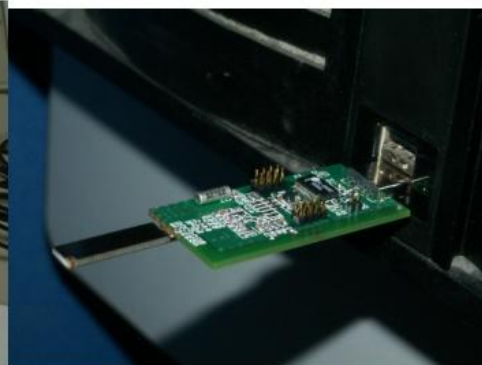
射頻RF無線傳輸元件



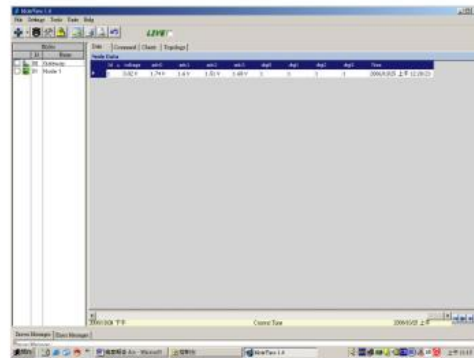
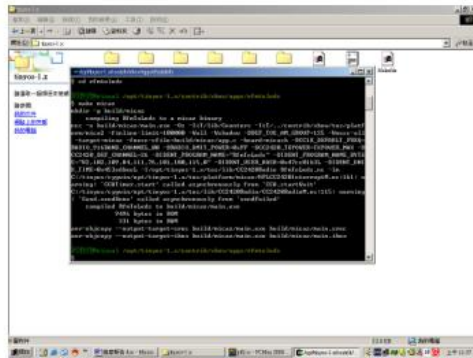
Crossbow加速度計及傾角計



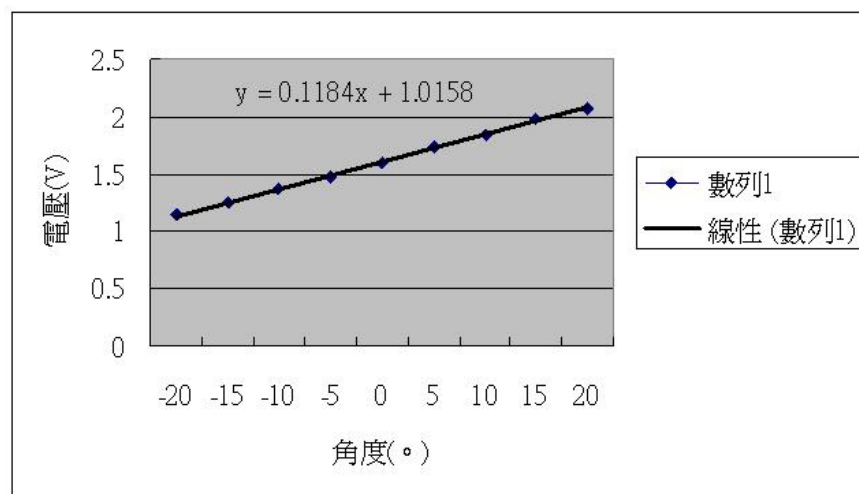
感測器與射頻RF無線傳輸發射元件之接合情形



射頻RF無線傳輸接收元件與電腦接合之情形



傾角計校正測試



加速度計校正測試

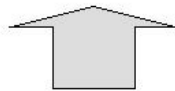
本研究利用重力加速度 G 進行校正，

+ 1 G : 電壓1.887V，

- 1 G : 電壓1.359V，

二者之間2 G 的重力加速度差異，有電壓值
差異量0.538 V，

亦即其敏感度為269mV/ G



結論與建議

- 有效運用本計畫所發展之水下載具，利用攝影機之運動，獲取大範圍影像，配合載具之定位資訊，將十分有助於水下結構物觀測工作。所得之影像數據，可與側掃聲納、多聲束聲納或潛水人員之探測數據互相參考，影像數據並可經由影像拼嵌技術，而得到水下物體之高解析度、大範圍影像。

- 以多音束測深系統採用聲學方式來進行海床底質分類工作，需注意儘量保持測量作業期間，系統之設定(尤其是波長)應保持一致，若有改變則需依據改變範圍以分區進行底質分類。部分多音束測深儀會依據水深及底質等特性之不同，而自動改變系統之設定，此類系統並不適用於聲學底質分類法。聲學底質分類法之成果易受水深雜訊資料、船隻姿態過大、資料處理過程之參數設定等之影響。

- 完成無線式船舶運動量測模組整體規劃，決定選用IEEE 802.15.4 /Zigbee技術，並在市販成品中尋求適合的元件，以Crossbow產品為標的進行系統建置之探討及射頻RF無線傳輸元件與Crossbow感測器構成的無線傳輸模組測試，並完成以Crossbow的Zigbee 無線傳輸元件與感測器構成的無線傳輸模組之測試。

報告完請指教
謝謝！！

附錄二 期末報告審查意見及辦理情形

交通部運輸研究所 九十五 年度自辦計畫審查意見表

計畫名稱：水下自動化監測作業技術之研發(2/4)		
審查委員	審查意見	辦理情形
國立交通大學 郭一羽教授	1. 近岸波流強烈，水下載具若無法穩定則監品管不佳。且泥沙含量高透視度不佳，攝影有困難，在實用上需考慮。 2. 以聲波探測底質，將是很有效的海下監測方法。但成效與可靠性如何應做更清楚的說明。 3. 船舶的形狀及大小是否能充份反映真實波況，其通用範圍應詳加探討。	1. 水下載具可抵抗4節以下之水流應超過近岸流速，泥沙含量是應克服之困難，但載具已可接近底床且有探照設備其影響應有限。 2. 俟實體檢測時會仔細評估其可靠性和風險性。 3. 由船舶運動反算波況係以空間分佈來推算平均波高，船舶無法航行時即為其量測上限。
國立中山大學 李忠潘教授	1. 以聲波進行底質分類時，應有校正機制，譬如以攝影或取樣結果與聲波取得結果比對。 2. 報告宜以三個計劃分別選寫。如以每計畫一個chapter(章)編寫，難以有章之間的連結。 3. 簡報內容與報告書內容不太一致（名稱不一致）。	1. 底質有建立比對資料庫應可由分類特性來區分。 2. 在下一年度其整合性部份才容易顯現，下年度報告時會部份整合。 3. 謝謝指正，予以改正。

國立成功大學 許泰文教授	1. 計畫構想合理，研究內容豐富，計畫架構具嚴謹性和完整性，層次條理分明，研究方法正確。 2. 淺水域多音束量測水深技術在海灘底質分類精確度如何？請加以補充。 3. 示範作業區是否以東部海域較為合適，高雄海域以細沙較多。 4. 以船舶運動推算臺灣海域波浪，轉換函數非常重要，建議從實驗室加以校驗，以增加波浪推算之正確性。	1. 謝謝肯定。 2. 多音束量測底質其精度問題會再進一步探討。 3. 採用濁度較高海域才能確認技術之可行性在水質清澈區域其有良好的量測結果。 4. 實驗室受限條件太多實無法有效反應，其量測之率性將採用臺北港觀測樁和雷達測波系統之現場觀測結果來做比對
國立臺灣海洋大學 蕭松山副教授	1. 本年度計畫成果具實用性，將有助於港灣構造物水下施工及檢維修管理技術之提升，成果值得肯定。 2. 以聲波方式進行底質分類技術研發，對於港灣疏浚工程準確施做及挖濬方式決定之研判有所助益。 3. 以船舶運動反算波高、週期為波場量測之統計方法，成果佳，然如何克服惡劣氣候如何蒐集建議探討。	1. 謝謝肯定。 2. 謝謝肯定。 3. 惡劣風浪條件下船舶航行具有危險性，亦即惡劣天候有其困難度。