

98-63-7417
MOTC-IOT-97-H2DB007

船舶運動推算臺灣海域即時波浪場 模式建立之研究(4/4)



交通部運輸研究所

中華民國 98 年 5 月

98-63-7417

MOTC-IOT-97-H2DB007

船舶運動推算臺灣海域即時波浪場 模式建立之研究(4/4)

著 者：邱永芳、邱逢琛、郭振華、蔡金吉

交通部運輸研究所

中華民國 98 年 5 月

GPN: 1009801335

定價 100 元

國家圖書館出版品預行編目資料

船舶運動推算臺灣海域即時波浪場模式建立之研究

究. (4/4) / 邱永芳等著. -- 初版. -- 臺北

市：交通部運研所，民 98.05

面；公分

參考書面：面

ISBN 978-986-01-8756-4(平裝)

1. 波動 2. 船舶工程 3. 自動化 4. 臺灣

351.941029

98009738

船舶運動推算臺灣海域即時波浪場模式建立之研究(4/4)

著者：邱永芳、邱逢琛、郭振華、蔡金吉

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電話：(04) 26587176

出版年月：中華民國 98 年 5 月

印刷者：良機事務機器有限公司

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網站

定價：新臺幣 100 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207

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

GPN：1009801335

ISBN：978-986-01-8756-4 (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：船舶運動推算臺灣海域即時波浪場模式建立之研究(4/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-01-8756-4（平裝）	政府出版品統一編號 1009801335	運輸研究所出版品編號 98-63-7417	計畫編號 97-H2DB007
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳主任 計畫主持人：邱永芳主任 研究人員：蔡金吉 聯絡電話：04-26587221 傳真號碼：04-26571329	合作研究單位：國立臺灣大學 計畫主持人：邱逢琛教授 研究人員：郭振華、邱意明、蔡承翰、 莊承翰 地址：臺北市羅斯福路4段1號 聯絡電話：02-33665761		研究期間 自 97 年 03 月 至 97 年 11 月
關鍵詞：船舶運動；波浪場；類神經網路			
摘要： 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，建置臺灣海域即時波浪場測報系統之可行性及其離形規劃，並建立其相關核心技術，以作為建置該系統之基礎。 本研究以四年為期，94 年度計畫已完成類神經網路模式之建構，使之成為可從船體運動結果反算遭遇波浪示性波高、週期及波向之有效工具。而 95 年度計畫則已完成無線式船舶運動量測模組之研發，建立便於安裝使用與維護的船舶運動量測模組，將使得大量使用於海巡船舶成為可行，這是本研究全程計畫中的關鍵硬體技術。96 年度計畫已利用類神經網路模式建構從多個任意分散的波浪資料，合理分析臺灣海域即時波浪場全貌的方法及程式，這是建構波浪場即時測報系統的關鍵技術。97 年度(本年度)計畫目標在於完成海巡船舶運動推算臺灣海域即時波浪場之系統離形規劃與模擬，其主要施行步驟包括：無線式船舶運動量測模組應用實測與驗證、整體系統架構之離形規劃以及臺灣海域即時波浪場之推算模擬。 本期（97 年度）報告說明臺灣海域波浪資料密度對於類神經網路訓練與重建精度之效應、臺灣海域即時波浪場推估模擬之流程和結果，以及船體運動感測訊號無線傳輸精進結果，最後提出了應用海巡船舶運動推算臺灣海域即時波浪場之系統離形規劃，可作為未來實現開發與建置該系統的參考。 應用本研究四年期完成後所建立的核心技術，配合利用遍佈臺灣海域值勤的海巡船舶運動，進行臺灣海域場即時測報的系統若能建置，則將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。 成果效益： 1. 本研究針對建置台灣海域波浪屬『面』的波浪測報系統所需的相關核心技術，完成開發。後續本系統的實驗和應用推廣對於海洋資源調查、利用與開發、海上休閒活動以及海上運輸與交通活動上，將有助於國人更精確掌握台灣海域波浪的即時訊息。 2. 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所構成的感測網路方式，本系統可同時獲得隨時間變化及空間變化的波浪資訊，更有助於驗證預報模式，提升海象預報之精度。 3. 本研究取得一項「類神經網路模式之船載波浪量測裝置」中華民國專利證照。			
出版日期	頁數	工本費	本 出 版 品 取 得 方 式
98 年 5 月	138	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工本費價購。
機密等級： ☐密 ☐機密 ☐極機密 ☐絕對機密 （解密條件：☐ 年 月 日解密，☐公布後解密，☐附件抽存後解密， ☐工作完成或會議終了時解密，☐另行檢討後辦理解密） ☒普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Development of a Model to Evaluate Wave Field Based on Ship Motions for the Sea Area around Taiwan (4/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-01-8756-4 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009801335	IOT SERIAL NUMBER 98-63-7417	PROJECT NUMBER 97-H2DB007
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yuang-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yuang-fang PROJECT STAFF: Tsa Chin-chi PHONE: +886-4-26587221 FAX: +886-4-26571329			PROJECT PERIOD FROM March 2008 TO November 2008
RESEARCH AGENCY: NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Fornng-chen PROJECT STAFF: Guo Jen-hwa; Chiu Yi-ming; Tsai Cheng-han ; Chuang Cheng-han ADDRESS: No.1, Sec. 4, Roosevelt Road, Taipei 106, Taiwan, R.O.C. PHONE: +886-2-33665761			
KEY WORDS: ship motions; wave field; neural networks			
ABSTRACT The purpose of this research project is to develop a model that can be used to evaluate wave fields based on ship motions, and to study the feasibility of setting up a ship-bone wave monitoring system for the sea area around Taiwan. In addition, the related key technologies would also be developed after this four-year project. First, in the 1st year (FY94), the method and computer program to evaluate wave fields based on ship motions was developed, and then in the 2nd year (FY95), a wireless module to measure ship motions was developed. In addition, the method and computer program to evaluate the overall wave field of the sea area around Taiwan based on the ship motions data of a fleet was developed in the 3rd year (FY96). Finally, in the 4th year (FY97), the planning as well as simulation of the ship-bone wave monitoring system for the sea area around Taiwan by using the fleet of Taiwan Coast Guard follows. In the first year (FY94), a neural networks model was developed to evaluate the significant wave height, period and direction based on ship motions. In the second year (FY95), a wireless ship motions measurement sub-system was developed. The success of this sub-system makes it feasible to install these sub-systems on the Taiwan Coast Guard fleet and could become key technological hardware in this research project. In the third year (FY96), a neural networks model was developed to evaluate the overall wave field of the sea area around Taiwan based on the limited numbers of wave data evaluated using measured ship motions of the Taiwan Coast Guard fleet. In this year (FY97), research is focused on the planning and simulation of a prototype system that can be used to evaluate the overall wave field of the sea area around Taiwan based on the limited numbers of measured ship motions of the Taiwan Coast Guard fleet. In this report, the prototype of the ship-bone wave monitoring system for the sea area around Taiwan is proposed and the simulation results are shown. In addition, the test results of a refined wireless ship motions measurement sub-system is also reported.			
DATE OF PUBLICATION May 2009	NUMBER OF PAGES 138	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·····	III
目 錄·····	III
圖目錄 ·····	VI
表目錄 ·····	XIII.
第一章 前言·····	1-1
1.1 計畫背景·····	1-1
1.2 研究範圍與對象·····	1-2
1.3 研究內容與工作項目·····	1-2
1.4 文獻回顧·····	1-3
1.5 研究方法及進行步驟·····	1-4
1.6 預期成果·····	1-5
第二章 臺灣海域波浪資料取得規劃·····	2-1
2.1 間隔12小時之類神經網路模式訓練與重建·····	2-1
2.2 間隔3小時之類神經網路模式訓練與重建·····	2-21
2.3 比較與討論·····	2-40
第三章 臺灣海域即時波浪場之推算模擬·····	3-1
3.1 模擬流程·····	3-1
3.2 波浪中的船體運動反應計算·····	3-3
3.2.1 短峰不規則波·····	3-3

3.2.2 短峰不規則波中的船體運動反應·····	3-5
3.2.3 短峰不規則波中的船體運動反應模擬結果·····	3-5
3.3 波浪反算·····	3-8
3.3.1 波浪反算類神經網路之訓練·····	3-8
3.4 即時波浪場之推算模擬·····	3-11
3.4.1 模擬之設定·····	3-11
3.4.2 模擬之設定·····	3-11
3.4.3 模擬之設定·····	3-17
第四章 無線傳輸模組精進·····	4-1
4.1 系統硬體·····	4-1
4.2 運動量測資料傳輸·····	4-5
4.3 程式流程·····	4-7
4.4 實驗測試樣本·····	4-9
第五章 海巡船舶運動推算臺灣即時波浪場之系統雛形規畫·····	5-1
第六章 結論與建議·····	6-1
6.1 結論·····	6-1
6.2 建議·····	6-1
參考文獻·····	7-1
附錄一 期中報告審查意見處理情形表·····	8-1
附錄二 期末報告審查意見處理情形表·····	9-1
附錄三 期中簡報資料·····	10-1

附錄四 期末簡報資料·····	11-1
-----------------	------

圖 目 錄

圖 2-1 第一個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(2007/03/03 AM 12:00)·····	2-3
圖 2-2(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖·····	2-3
圖 2-2(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖·····	2-4
圖 2-2(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖·····	2-4
圖 2-2(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖·····	2-5
圖 2-2(e) 第一個時間四組波高分布重建結果之偏離分析·····	2-5
圖 2-3 第二個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(2007/03/05 PM 15:00)·····	2-6
圖 2-4(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖·····	2-6
圖 2-4(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖·····	2-7
圖 2-4(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖·····	2-7
圖 2-4(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖·····	2-8
圖 2-4(e) 第二個時間四組波高分布重建結果之偏離分析·····	2-8
圖 2-5 第三個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(2007/03/13 PM 12:00)·····	2-9
圖 2-6(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖·····	2-9
圖 2-6(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖·····	2-10
圖 2-6(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖·····	2-10
圖 2-6(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖·····	2-11

圖 2-6(e) 第三個時間四組波高分布重建結果之偏離分析·····	2-11
圖 2-7 第四個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(2007/03/17 AM 06:00)·····	2-12
圖 2-8(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖·····	2-12
圖 2-8(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖·····	2-13
圖 2-8(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖·····	2-13
圖 2-8(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖·····	2-14
圖 2-8(e) 第四個時間四組波高分布重建結果之偏離分析·····	2-14
圖 2-9 第五個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(2007/03/28 AM 12:00)·····	2-15
圖 2-10(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖·····	2-15
圖 2-10(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖·····	2-16
圖 2-10(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖·····	2-16
圖 2-10(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖·····	2-17
圖 2-10(e) 第五個時間四組波高分布重建結果之偏離分析·····	2-17
圖 2-11 第六個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(2007/03/31 PM 18:00)·····	2-18
圖 2-12(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖·····	2-18
圖 2-12(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖·····	2-19
圖 2-12(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖·····	2-19
圖 2-12(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖·····	2-20
圖 2-12(e) 第六個時間四組波高分布重建結果之偏離分析·····	2-20

圖 2-13 第一個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(2007/03/03 AM 12:00)·····	2-22
圖 2-14(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖·····	2-22
圖 2-14(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖·····	2-23
圖 2-14(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖·····	2-23
圖 2-14(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖·····	2-24
圖 2-14(e) 第一個時間四組波高分布重建結果之偏離分析·····	2-24
圖 2-15 第二個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(2007/03/05 PM 15:00)·····	2-25
圖 2-16(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖·····	2-25
圖 2-16(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖·····	2-26
圖 2-16(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖·····	2-26
圖 2-16(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖·····	2-27
圖 2-16(e) 第二個時間四組波高分布重建結果之偏離分析·····	2-27
圖 2-17 第三個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(2007/03/13 PM 12:00)·····	2-28
圖 2-18(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖·····	2-28
圖 2-18(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖·····	2-29
圖 2-18(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖·····	2-29
圖 2-18(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖·····	2-30
圖 2-18(e) 第三個時間四組波高分布重建結果之偏離分析·····	2-30
圖 2-19 第四個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(2007/03/17 AM	

06:00)·····	2-31
圖 2-20(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖·····	2-31
圖 2-20(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖·····	2-32
圖 2-20(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖·····	2-32
圖 2-20(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖·····	2-33
圖 2-20(e) 第四個時間四組波高分布重建結果之偏離分析·····	2-33
圖 2-21 第五個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(2007/03/28 AM 12:00)·····	2-34
圖 2-22(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖·····	2-34
圖 2-22(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖·····	2-35
圖 2-22(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖·····	2-35
圖 2-22(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖·····	2-36
圖 2-22(e) 第五個時間四組波高分布重建結果之偏離分析·····	2-36
圖 2-23 第六個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(2007/03/31 PM 18:00)·····	2-37
圖 2-24(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖·····	2-37
圖 2-24(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖·····	2-38
圖 2-24(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖·····	2-38
圖 2-24(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖·····	2-39
圖 2-24(e) 第六個時間四組波高分布重建結果之偏離分析·····	2-39
圖 2-25 平均波高誤差比較圖·····	2-40
圖 2-26 波高標準偏差(%平均波高)比較圖·····	2-41

圖 2-27 相關係數比較圖·····	2-41
圖 3-1 模擬流程·····	3-2
圖 3-2 船體運動模擬例(時間序列)·····	3-6
圖 3-3 船體運動模擬例(分散譜)·····	3-7
圖 3-4 示性波高反算結果之偏離分析·····	3-9
圖 3-5 示性週期反算結果之偏離分析·····	3-10
圖 3-6 船速反算結果之偏離分析·····	3-10
圖 3-7 波向角反算結果之偏離分析·····	3-11
圖 3-8(a) 模擬設定例一·····	3-12
圖 3-8(b) 模擬設定例二·····	3-12
圖 3-9(a) 時段一之示性波高反算結果之偏離分析·····	3-13
圖 3-9(b) 時段一之示性週期反算結果之偏離分析·····	3-14
圖 3-9(c) 時段一之船速反算結果之偏離分析·····	3-14
圖 3-9(d) 時段一之波向角反算結果之偏離分析·····	3-15
圖 3-10(a) 時段二之示性波高反算結果之偏離分析·····	3-15
圖 3-10(b) 時段二之示性週期反算結果之偏離分析·····	3-16
圖 3-10(c) 時段二之船速反算結果之偏離分析·····	3-16
圖 3-10(d) 時段二之波向角反算結果之偏離分析·····	3-17
圖 3-11(a) 第一個時段 2007/3/3 12:00 AM. 原始資料之波高分佈··	3-18
圖 3-11(b) 第一個時段 2007/3/3 12:00 AM. 類神經網路重建結果··	3-19
圖 3-11(c) 第一個時段 2007/3/3 12:00 AM. 偏離分析·····	3-19

圖 3-12(a) 第二個時段 2007/3/3 3:00 AM. 原始資料之波高分佈	3-20
圖 3-12(b) 第二個時段 2007/3/3 3:00 AM. 類神經網路重建結果	3-20
圖 3-12(c) 第二個時段 2007/3/3 3:00 AM. 偏離分析	3-21
圖 4-1 無線傳輸模組” Super Node” 之外觀圖	4-1
圖 4-2 單晶片控制器 MSP430F1611	4-2
圖 4-3(a) 可攜式電腦端使用的” Super Node” 之外觀圖	4-3
圖 4-3(b) 在感測器端使用的” Super Node” 之外觀圖	4-4
圖 4-4 感測器佈置	4-4
圖 4-5 感測器佈置在船體的示意圖	4-5
圖 4-6 感測器星狀分佈圖	4-5
圖 4-7(a) 分時傳輸示意圖	4-6
圖 4-7(b) 分時區段	4-6
圖 4-8 矩陣變數位置	4-6
圖 4-9 傳送資料格式	4-7
圖 4-10 MSP430 發射端流程	4-8
圖 4-11 MSP430 接收端流程	4-8
圖 4-12 電腦端流程	4-9
圖 4-13 單一加速度計測試樣本	4-10
圖 4-14 A 端 Y 軸的加速度計測試樣本	4-10
圖 4-15 A 端 Z 軸的加速度計測試樣本	4-11
圖 4-16 B 端 Y 軸的加速度計測試樣本	4-11

圖 4-17 B 端 Z 軸的加速度計測試樣本·····	4-12
圖 4-18 C 端 Z 軸的加速度計測試樣本·····	4-12
圖 4-19 D 端 Z 軸的加速度計測試樣本·····	4-13
圖 4-20 E 端 Y 軸的加速度計測試樣本·····	4-13
圖 4-21 F 端 X 軸的傾角計測試樣本·····	4-14
圖 4-22 F 端 Y 軸的傾角計測試樣本·····	4-14

表 目 錄

表 3-1 各風浪階級資料	3-9
---------------------	-----

第一章 前言

1.1 計畫背景

依據交通部於民國九十一年一月出版的交通政策白皮書_氣象政策_氣象觀測政策三：因應海洋資源開發之需求，強化海象觀測設施與技術，提升海象測報能力，是其政策重點之一，而目前利用少數的近岸浮標(buoy)方式的波浪測報，不足以涵蓋整體臺灣海域，一般波浪預報的精度亦仍有大幅提昇的空間。另一方面，船舶受波浪作用而運動，所以船舶本身就是一個良好的波浪感測器，而隨著船舶運動理論的發展，藉由理論計算已能相當準確掌握船舶運動反應特性，因此藉由船舶運動量測分析，從而反算出船舶所在位置波浪的波高、週期與波向應是可行的波浪量測方法。因此，配合遍佈臺灣海域巡航的海巡署所屬船舶運動測量、波浪反算與回報，以及資料過濾與分析即能構成一個屬『面』的臺灣海域測報系統。

基於海洋資源調查、利用與開發之需要，海上休閒活動以及海上運輸與交通的日益增加，國人對於臺灣海域波浪即時而精確的掌握將會有日益增加的迫切需求。亦即，建置臺灣海域波浪屬『面』的波浪測報系統應屬必要，因此必須儘速研發相關核心技術。此外，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。

本計畫於第一期計畫中(1/4)已完成類神經網路模式之建構，確認該模式可成為從船體運動結果反算遭遇波浪示性波高、週期及波向之有效工具。第二期計畫中(2/4)已完成便於安裝及使用之船舶運動量測無線模組之研發，以便在干擾正常作業最低的條件下可普遍安裝於海巡船艇上。在此基礎上，即可設定將來多艘（譬如 70~80 艘）海巡船

船提供波浪資料時，如何透過資料整合以掌握臺灣海域即時波浪場全貌，第三期計畫(3/4)即完成了利用類神經網路模式建構從多個任意分散的波浪資料，合理分析臺灣海域即時波浪場全貌的方法及程式。而本期計畫(4/4)將達成全程總體目標，亦即在於完成海巡船舶運動推算臺灣海域即時波浪場之系統雛形規劃與模擬。

1.2 研究範圍與對象

本計畫全程之總體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。

設想以多艘（譬如 70~80 艘）海巡船舶任意分布於臺灣海域，經由運動量測及波浪反算提供波浪資料，並進行臺灣海域波浪全貌分析之系統。本期計畫之主要目標即在於規畫上述系統雛形架構並進行模擬確認。

1.3 研究內容與工作項目

94 年度已研發完成從船舶運動反算分析波浪的波高、週期及波向的方法及程式。95 年度則已完成無線式船舶運動量測模組之研發，建立了初步架構，惟在取樣頻率的提升方面仍將持續探討。96 年度已完成建構從多個任意分散的波浪資料，合理分析臺灣海域即時波浪場全貌的方法及程式

97 年度(本年度)計畫主要目標在於完成海巡船舶運動推算臺灣海域即時波浪場之系統雛形規劃與模擬，其主要內容包括：

1. 無線式船舶運動量測模組應用實測與驗證
2. 整體系統架構之雛形規劃

3. 臺灣海域即時波浪場之推算模擬。

1.4 文獻回顧

傳統上利用船舶進行波浪量測的方法有利用裝置於船艏的超音波波高計，或利用船底水壓計的 Tucker 式波高計[1]，惟其只能量測波高、週期而不能量測波向，而且較不適用於易產生大運動的高速、小型船舶。此外，雷達測波的研究也有近 40 年的歷史[2]，近年來岸置雷達測波技術已逐漸成熟，惟其精度仍受風、雨等環境因素影響，而船載雷達測波則更受船速及船體運動等影響，尚待克服的技術瓶頸仍多。另一方面，隨著船舶運動理論及實驗方法的發展，利用船體運動實測結果反算波浪的研究也有 30 餘年的歷史[3]，先從單點波譜的反算開始，以致於近十餘年來包含方向波譜在內的反算研究[4~13]，這些方法基本上都是在船體運動反應函數為已知的前提下，利用量測到的船體運動反應，用不同的方法反算以推估出遭遇波譜函數或其相關參數，研究證實船體運動本身確實是一個良好的波浪感測器，惟其限制是對於船體運動較不反應的短波長波浪，因此利用如海巡船舶之類的小型船舶，而非大型商船即能克服此一限制。此外，船體運動反應函數的估算誤差也會導致波浪反算結果的誤差，因此近年高石敬史[14]開發了一種無須船體運動反應函數為已知前提的方法，惟該法需要於船側量測多個相對水位，對於海巡船舶之類的高速小型船舶，船速引致的船側波浪將會干擾測量結果並導致反算誤差。

本研究於第一期研究中所提出的方法完全不同於前述文獻，是採用類神經網路模式的方法建立波浪反算模式，其優點是運算快速，適合大量應用於高速小型船舶，可詳見於文獻[15]而其波浪反算所需的船體運動量測系統與分析方法則已由本計畫主持人發展完成，可詳見於參考文獻[16]，惟該系統中之加速度及傾角量測皆以有線方式進行，會相當干擾海巡船艇正常作業，並不適合作為實際的作業系統，因此有必要予以發展成無線式模組，而前述各文獻之量測方式亦皆屬佈線量

測，而本研究第二期研究中所研發之無線式船體運動量測模組技術亦具有相當之創新性。本研究於第三期，以多艘（譬如 70~80 艘）海巡船舶提供波浪資料為前提下，所進行的臺灣海域波浪全貌分析方法及程式之研發，需要預先對於臺灣海域波浪之空間特性有所掌握，而這一方面國內發展中的『臺灣近岸海象預報模式系統(TaiCOMS)』的研究成果[17,18]以及過去的海象資料將能提供重要資料依據，而分析方面則有 Tsujimoto & Ishida 對日本近海波浪統計性質之研究[19]可供參考。本研究第三期關於臺灣海域波浪全貌分析方法及程式研發之成果可詳見於文獻[20]。

本研究於第四期(本期)將以之前發展完成的關鍵技術為基礎，規畫利用海巡船舶運動推算臺灣海域即時波浪場之系統雛形並以模擬進行確認。

1.5 研究方法及進行步驟

本研究以四年為期，依序進行下述步驟：

94 年度已執行波浪反算分析方法及程式之研發；

95 年度已執行無線式船舶運動量測模組之研發；

96 年度已執行從多個任意分散的波浪資料，合理分析臺灣海域即時波浪場全貌的方法及程式；

97 年度（即本年度）將進行利用海巡船舶運動推算臺灣海域即時波浪場之系統雛形規劃與模擬，

其施行步驟與方法如下：

1. 無線式船舶運動量測模組整備：依據第二期研究成果，整備量測系統。
2. 船舶運動實測與波浪反算驗證：進行實測驗證。

3. 整體系統架構之雛形規劃：設想以多艘（譬如 70~80 艘）海巡船舶任意分布於臺灣海域，經由運動量測及波浪反算提供波浪資料，並進行臺灣海域波浪全貌分析之系統，系統雛形將包含無線式船舶運動量測模組、波浪反算、波浪場全貌推估等次系統架構。
4. 臺灣海域波浪時空全貌狀態建構：利用『臺灣近岸海象預報模式系統(TaiCOMS)』資料建構臺灣海域波浪時空全貌狀態以供模擬驗證之用。
5. 臺灣海域即時波浪場之推算模擬：以步驟四所建構的環境條件，依循步驟三所建構的系統雛形進行模擬驗證。

1.6 預期成果

本研究分年依序預期完成的具體成果如下：

- 94 年度：已完成從船舶運動反算分析波浪的波高、週期及波向的類神經網路模式方法及程式，建立從船舶運動反算分析波浪的能力，這是本研究計畫要達成總體目標的關鍵技術。
- 95 年度：已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，將使得大量使用於海巡船舶成為可行，這是本研究計畫中的關鍵硬體技術。
- 96 年度：完成從臺灣周圍海域多個船舶運動資料及波浪反算結果，合理分析臺灣海域即時波浪場全貌的方法及程式，這是建構波浪場即時測報系統的關鍵技術。
- 97 年度（本年度）：預期完成利用海巡船舶運動反算分析臺灣海域即時波浪場系統雛形規劃與模擬，此規劃將可作為後續實際建置臺灣海域即時波浪場測報系統之依據與參考。

本研究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測報系統之可行性及其雛形規劃，並建立其核心技術，以

作為建置該系統之基礎。後續利用遍佈臺灣海域值勤的海巡船舶運動，進行臺灣海域場即時測報的系統若能建置，則將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。在波浪反算的理論分析方法上，採取利用類神經網路模式方法的研究並不多，因此在學術上亦頗具價值。而大多文獻所示之波浪或運動量測方式亦皆屬佈線量測，因此研發無線式船體運動量測模組技術亦應具有相當之創新與挑戰性。而完成的臺灣海域即時波浪場全貌分析方法及程式，是建構波浪場即時測報系統的關鍵技術。而本期預計完成的系統雛形規畫與模擬，其順利完成將能成為大幅提升我國波浪量測系統技術之基礎。

第二章 臺灣海域波浪資料密度效應驗證

由於前期計畫中所取得的 TaiCOMS 資料[17]每筆間隔為 12 小時，為確認以 12 小時間隔的資料所訓練的類神經網路具有時間上的代表性，本研究進一步取得了 2007 年 TaiCOMS 間隔 3 小時的資料，並且選取其三月單月的資料作為驗證對象。並且分別以 3 小時間隔及 12 小時間隔的資料來訓練類神經網路，並且比較兩者之重建準確性。本報告中所謂波浪場重建係指以有限個位置(譬如 50 個)的波浪資料，代入已經訓練完成的類神經網路計算得涵蓋全空間多個位置(譬如 412 個)的波浪資料，並以等高線繪製其空間分布圖。

本章採用的類神經網路架構與前期計畫內容相同，是採用多層類神經網路架構，共有四層，包含一個輸入層 ($3 \times 50 = 150$ nodes)，二個隱藏層(各 412 nodes 及 412 nodes)，以及一個輸出層(412 nodes)，前後的神經元(node)彼此連結，通常神經元具有非線性轉移函數，本研究採用的是 sigmoid function，而訓練是使用逆傳遞法(Back - propagation)。

2.1 間隔 12 小時之類神經網路模式訓練與重建

TaiCOMS 全域波浪模式在大區域方面是引用 WAM 及 SWAN 兩種風浪模式，小區域方面則引用 DEF/DIF 及 MSE 兩種波浪模式，而在數值格網系統方面則採用有大中小細等四種尺度的格網及計算範圍[18]。與本研究相應，而為本研究所需的是中尺度的格網及計算範圍。TaiCOMS 應用 WAM 模式模擬大範圍海域風浪演變，並利用 SWAN 模式內插 WAM 模式所計算出來的二維頻譜，作為較小範圍 SWAN 模式所需之邊界條件，使用巢狀格網進行計算。SWAN 模式之計算範圍南北向在北緯 20° 至 27° 之間，東西向在東經 118° 至 124° 之間，格網大小約 5 公里，頻率解析範圍在 0.05Hz 至 0.5Hz 之間，方向解析度為 18° ，計算時間間隔為 10 分鐘 [17][18]。

原始資料為 101 x 126 的網格點，本節中同樣將網格點之間隔加大，成為一個 20 x 25 的網格面。並先用波高為例加以分析並繪圖。訓練樣本只挑選 2007 年三月中 AM 12:00 與 PM 12:00 的資料作為訓練樣本，故共構成 62 組資料，隨機再由 20 X 25(共 500 點)網格中取出 50 個點作為訓練樣本(62 組中每組個別產生 100 個訓練樣本資料，亦即構成 6200 筆訓練資料)。訓練完成後再由該月份內任意選取六個時間的資料(不一定為 AM 12:00 與 PM 12:00 的資料，而是其他時間的資料)各別重新隨機抽取 4 組樣本反算原樣本全貌，並個別繪圖與比較確認。

圖 2-1 所示為第一個時間 2007/03/03 AM 12:00 原始資料所畫出的波高等高線圖，而圖 2-2(a)~圖 2-2(d)為類神經網路模式訓練完成後，就該時間 2007/03/03 AM 12:00 之資料，四次重新隨機抽取 50 個波高點資料，反算出的 412 個波高點所繪製成的波高等高線圖。此外 2-2(e)則表示此第一個時間的原始資料和所對應的反算結果資料所作之偏離分析。同樣依序以 2007/03/05 PM 15:00(第二個時間)、2007/03/13 PM 12:00(第三個時間)、2007/03/17 AM 06:00(第四個時間)、2007/03/28 AM 12:00(第五個時間)以及 2007/03/31 PM 18:00(第六個時間)的資料為例，分別顯示原始資料之波高等高線圖，以及類神經網路模式訓練完成後就該時間的資料，四次重新隨機抽取 50 個波高點資料，反算出 412 個波高點所繪製的波高等高線圖。依序分別如圖 2-3 及圖 2-4(a)~圖 2-4(e)、圖 2-5 及圖 2-6(a)~圖 2-6(e)、圖 2-7 及圖 2-8(a)~圖 2-8(e)、圖 2-9 及圖 2-10(a)~圖 2-10(e)及圖 2-11 及圖 2-12(a)~圖 2-12(e)所示。

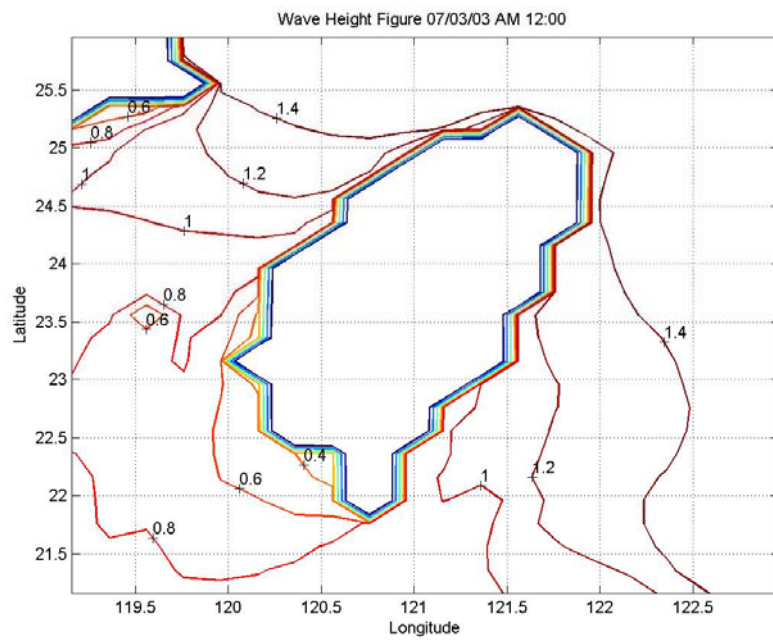


圖 2-1 第一個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/03 AM 12:00)

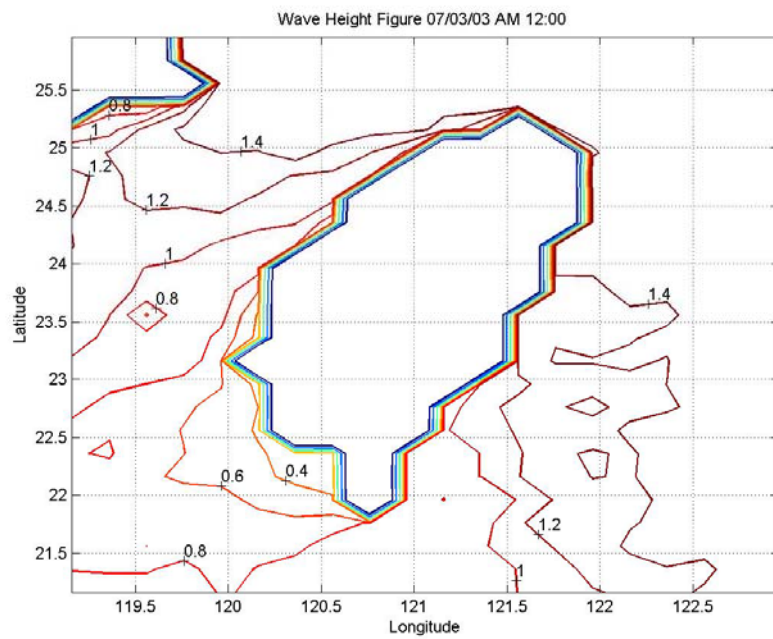


圖 2-2(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/03 AM 12:00)

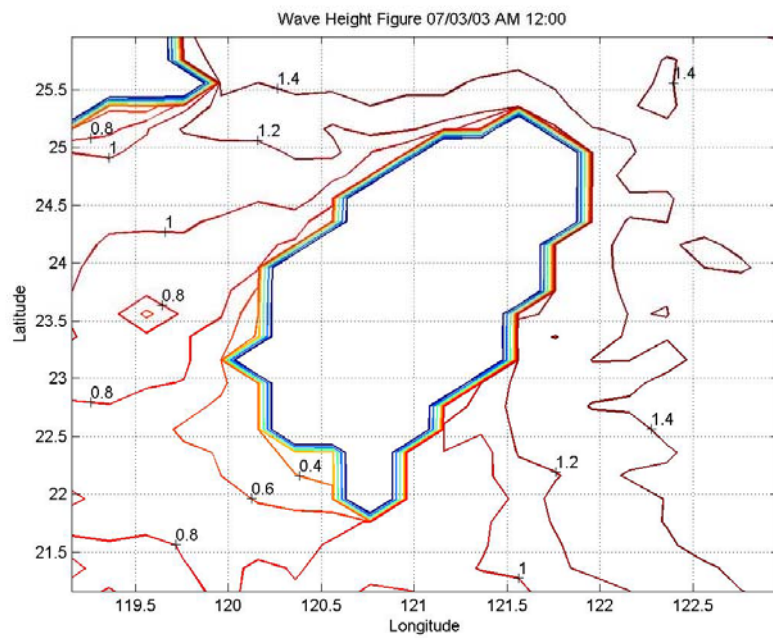


圖 2-2(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/03 AM 12:00)

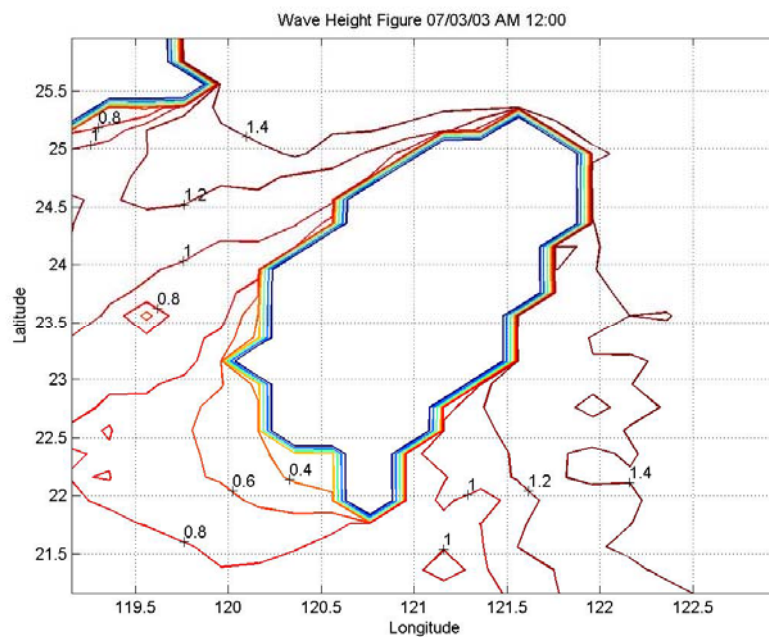


圖 2-2(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/03 AM 12:00)

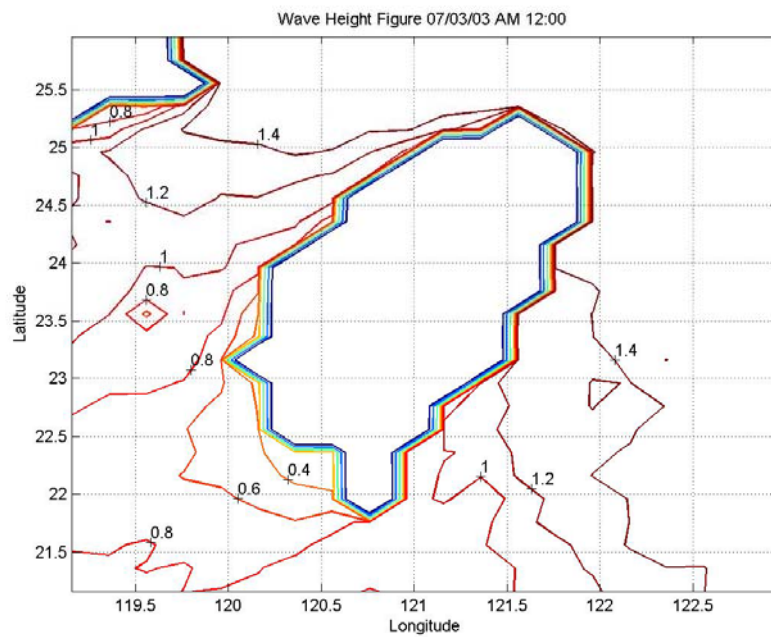


圖 2-2(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/03 AM 12:00)

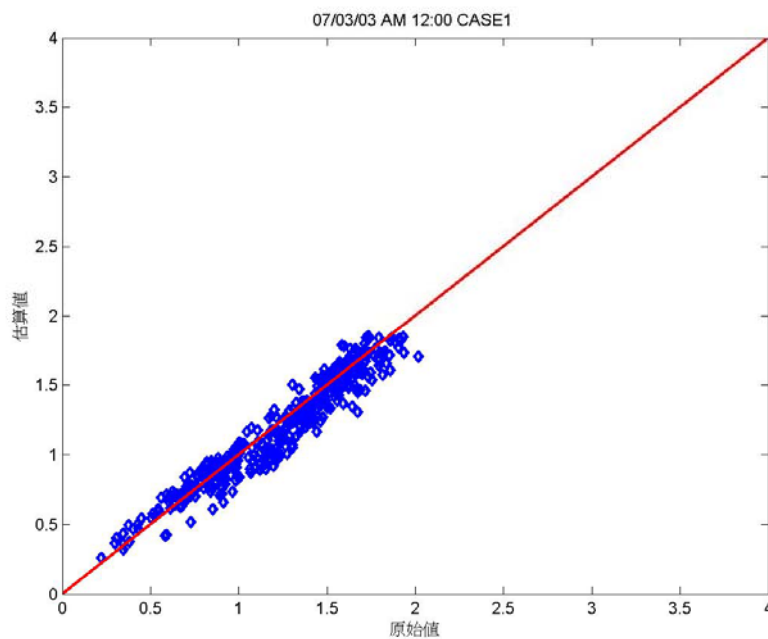


圖 2-2(e) 第一個時間四組波高分布重建結果之偏離分析(單位: m)
(2007/03/03 AM 12:00)

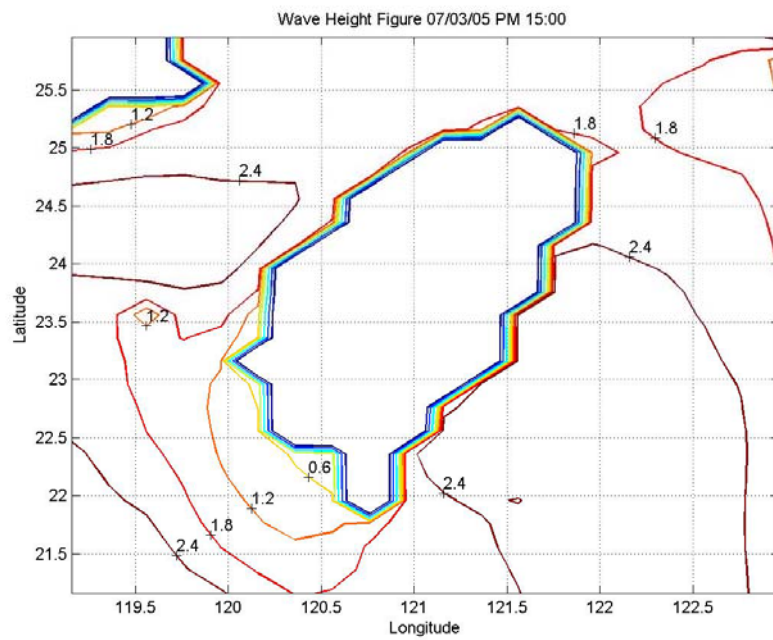


圖 2-3 第二個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/05 PM 15:00)

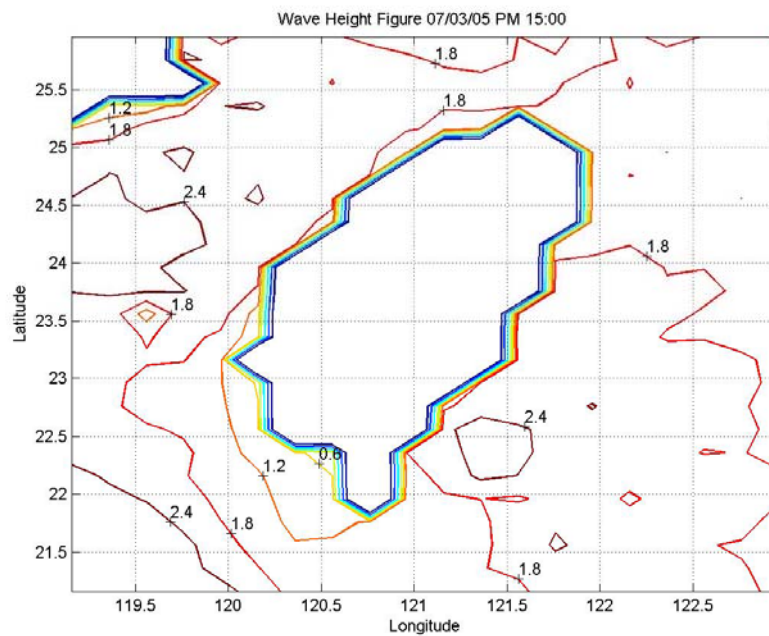


圖 2-4(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/05 PM 15:00)

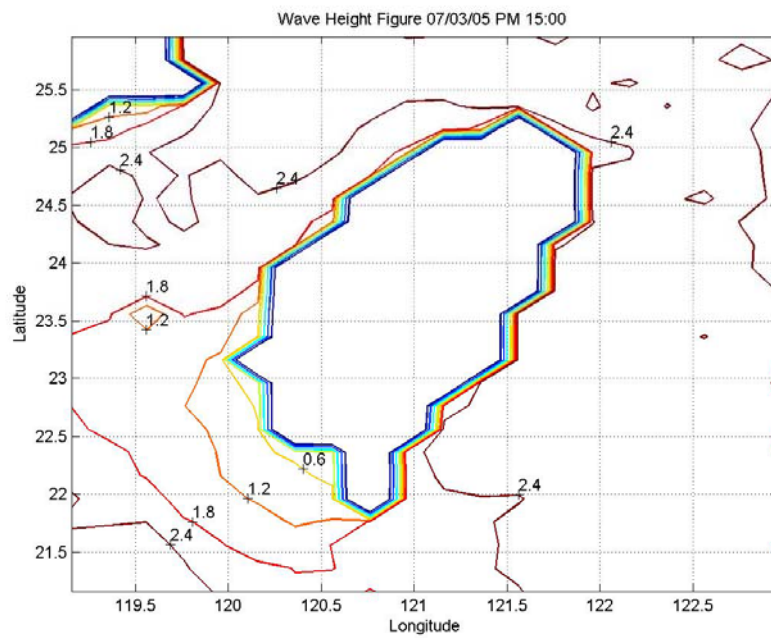


圖 2-4(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/05 PM 15:00)

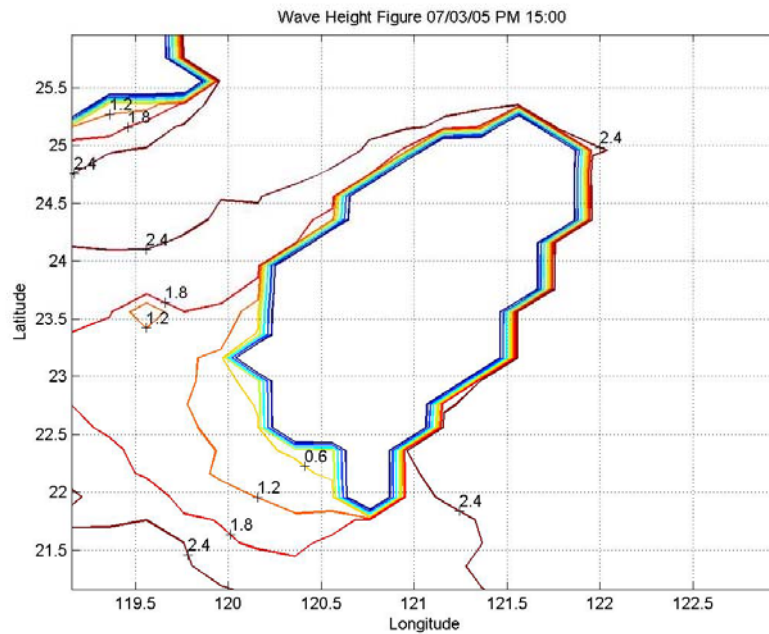


圖 2-4(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/05 PM 15:00)

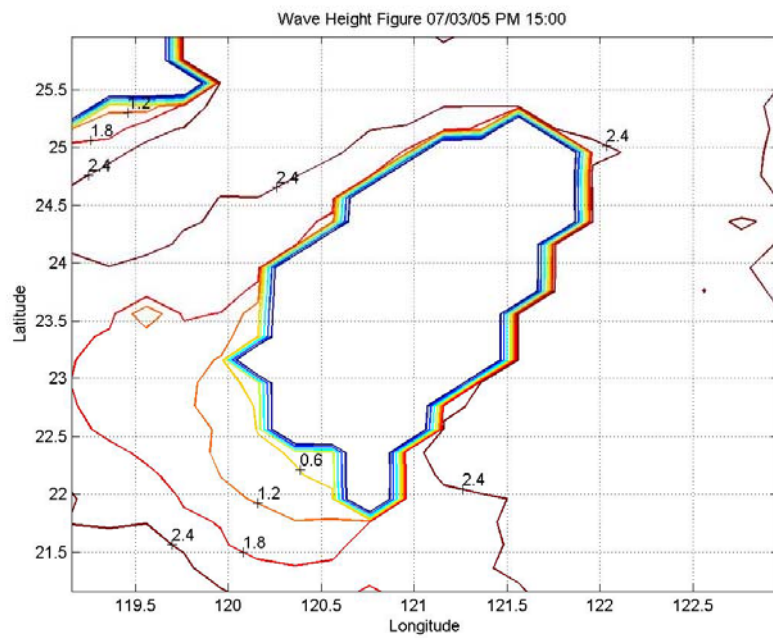


圖 2-4(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/05 PM 15:00)

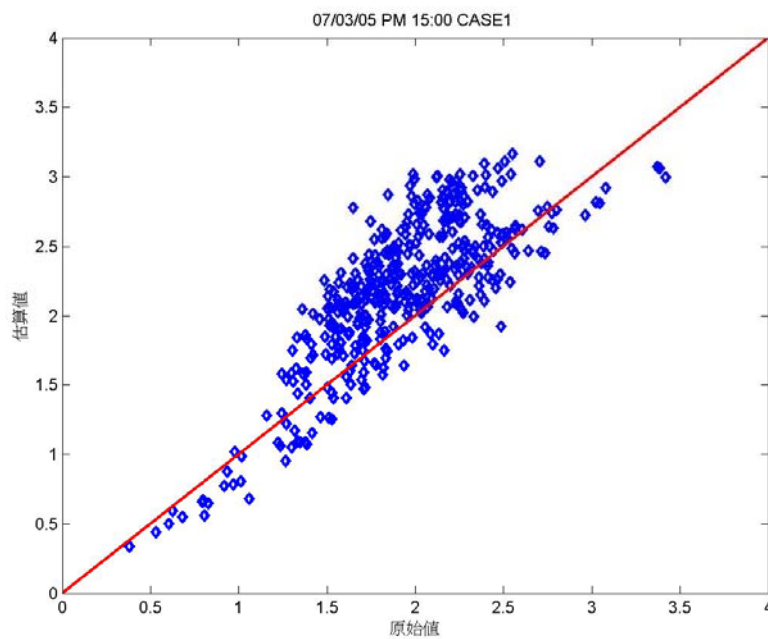


圖 2-4(e) 第二個時間四組波高分布重建結果之偏離分析(單位: m)
(2007/03/05 PM 15:00)

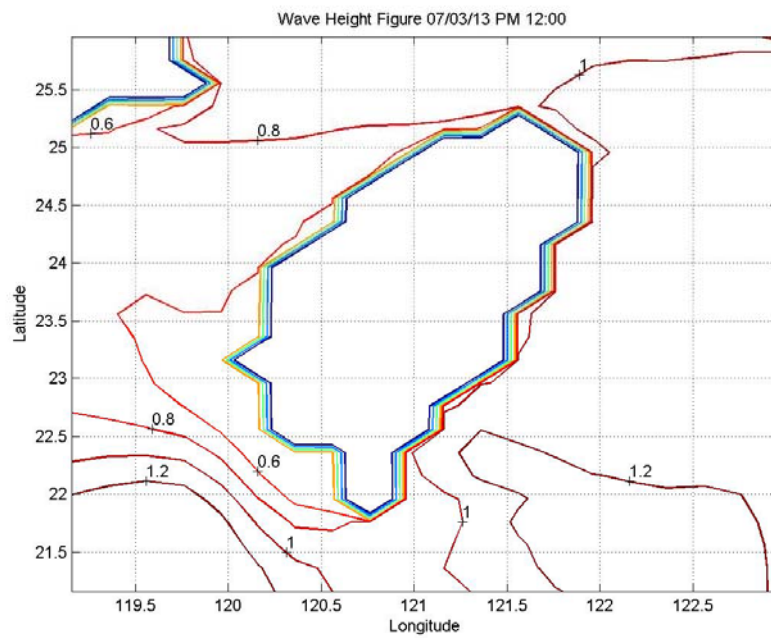


圖 2-5 第三個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/13 PM 12:00)

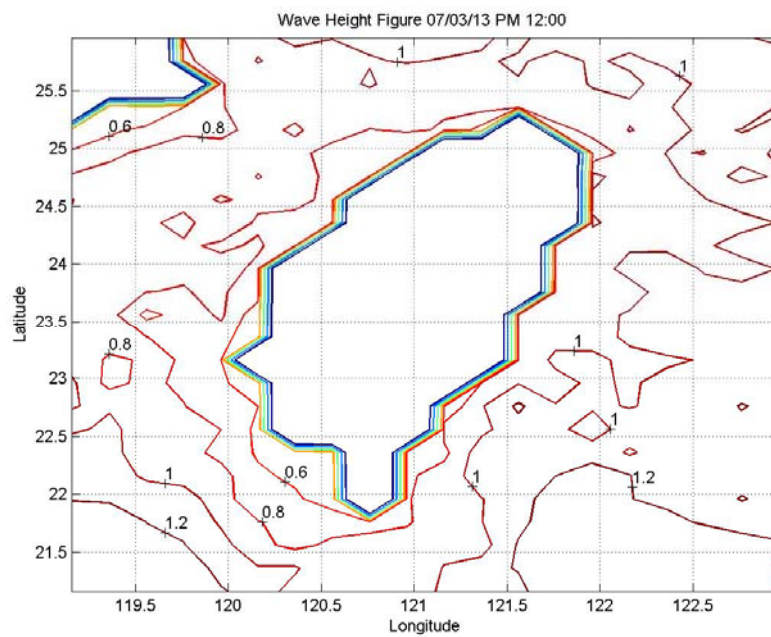


圖 2-6(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/13 PM 12:00)

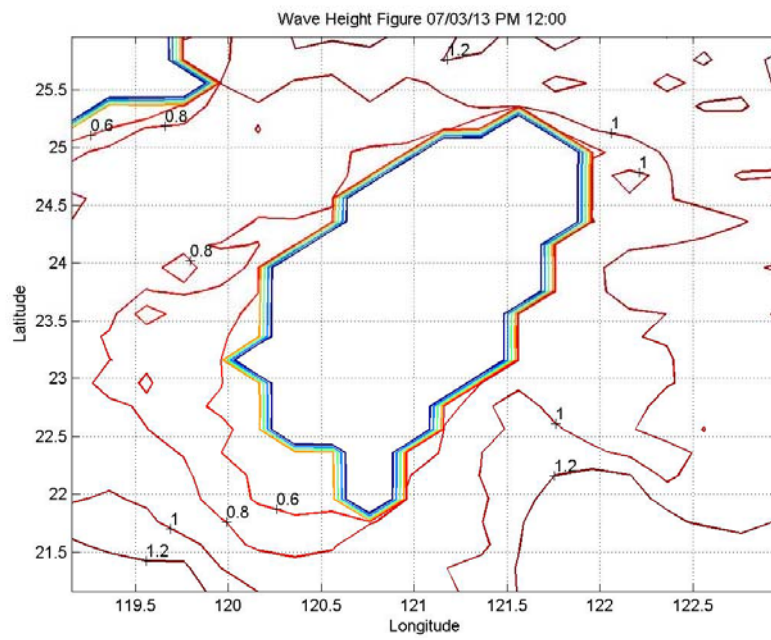


圖 2-6(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/13 PM 12:00)

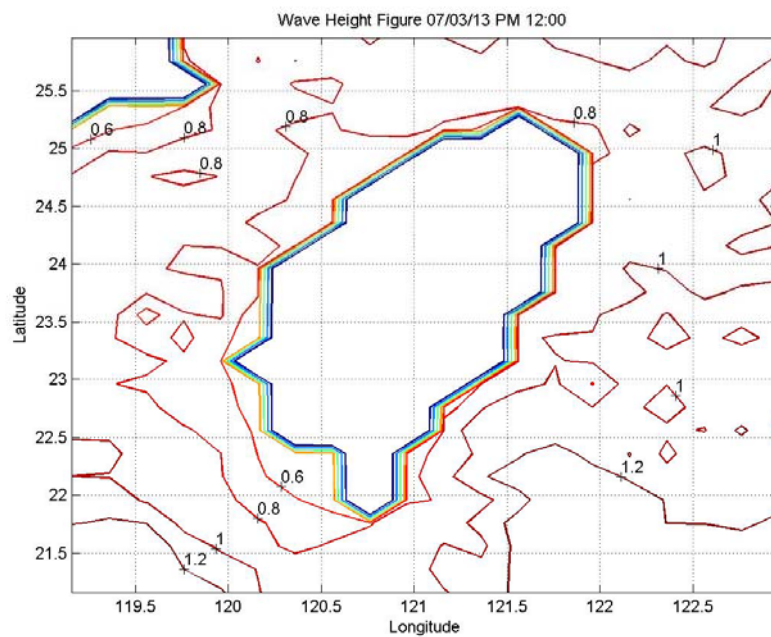


圖 2-6(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/13 PM 12:00)

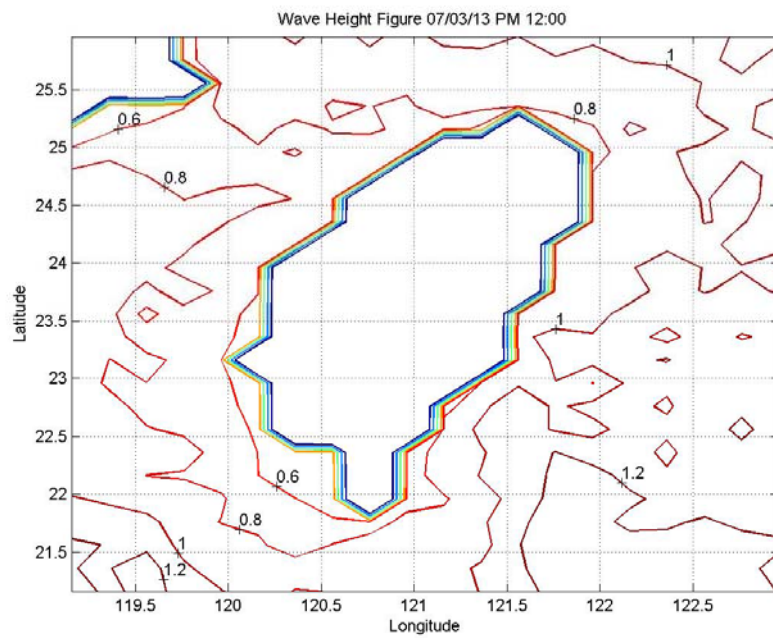


圖 2-6(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/13 PM 12:00)

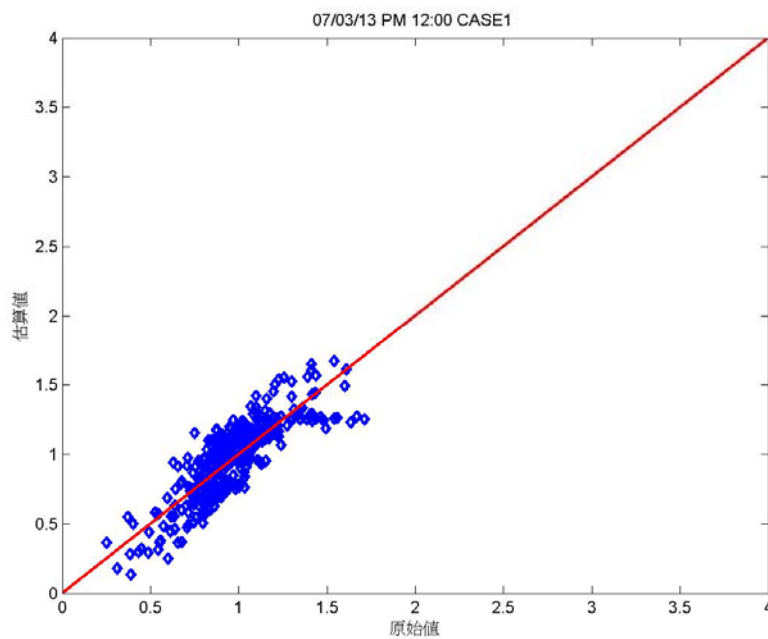


圖 2-6(e) 第三個時間四組波高分布重建結果之偏離分析(單位: m)
(2007/03/13 PM 12:00)

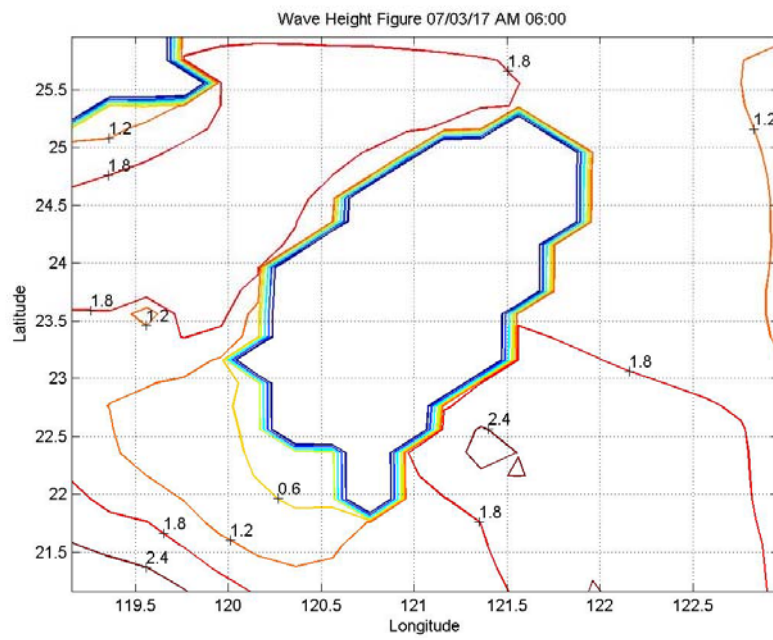


圖 2-7 第四個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/17 AM 06:00)

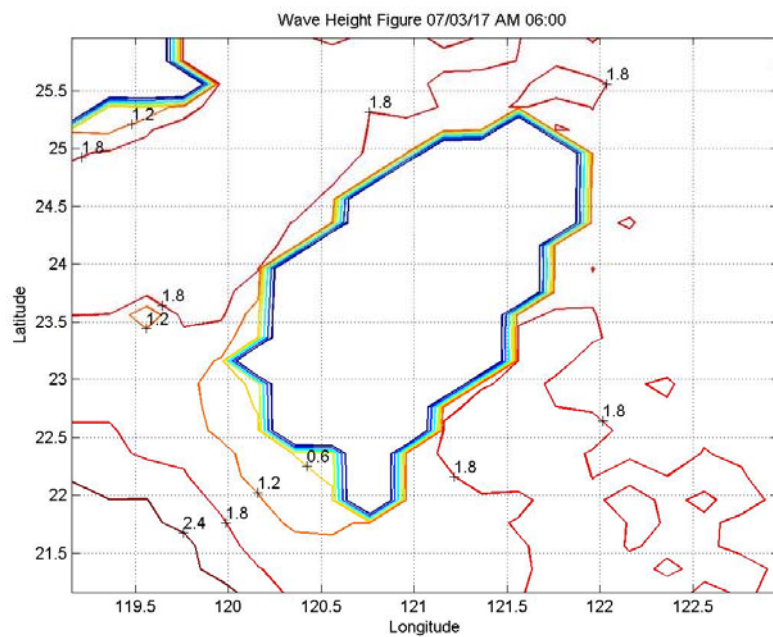


圖 2-8(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/17 AM 06:00)

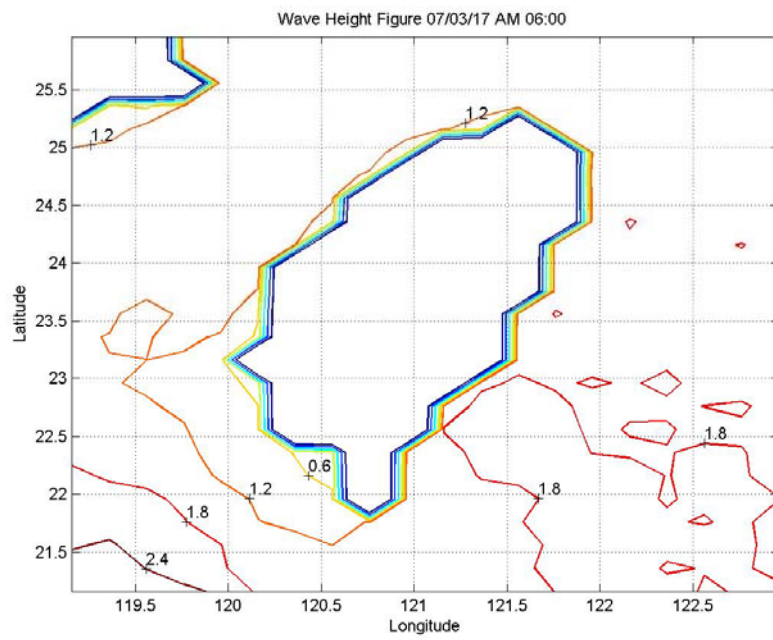


圖 2-8(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/17 AM 06:00)

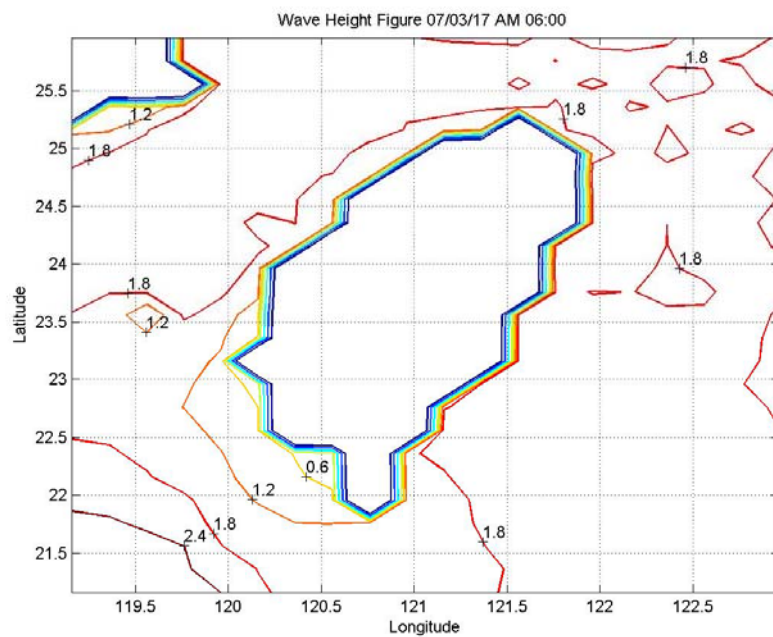


圖 2-8(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/17 AM 06:00)

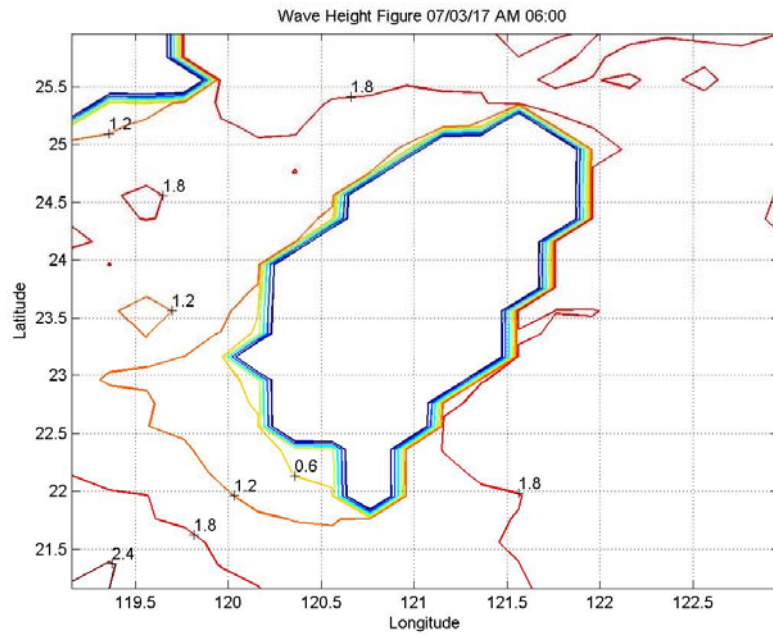


圖 2-8(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/17 AM 06:00)

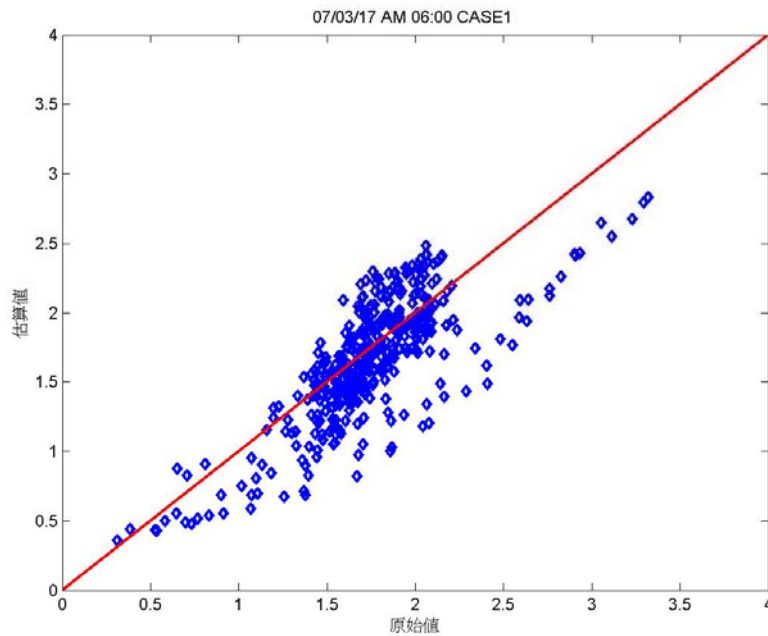


圖 2-8(e) 第四個時間四組波高分布重建結果之偏離分析(單位: m)
(2007/03/17 AM 06:00)

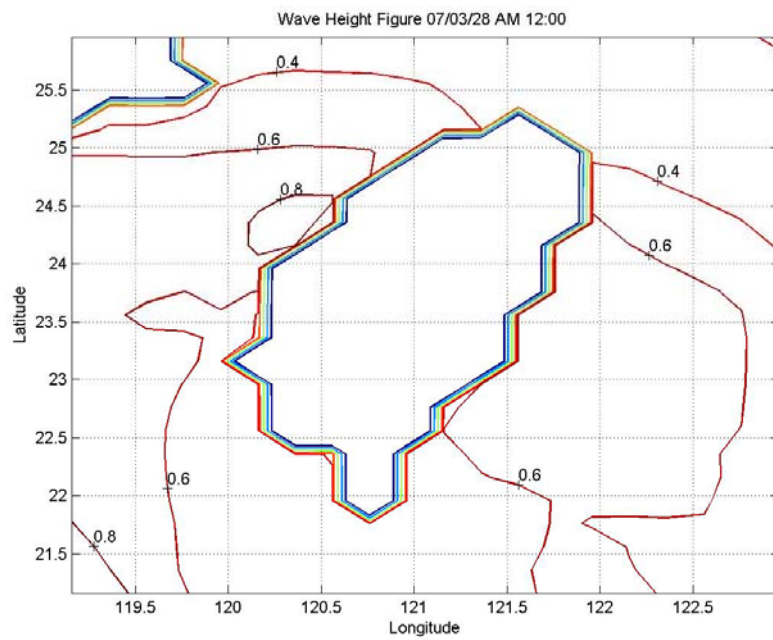


圖 2-9 第五個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/28 AM 12:00)

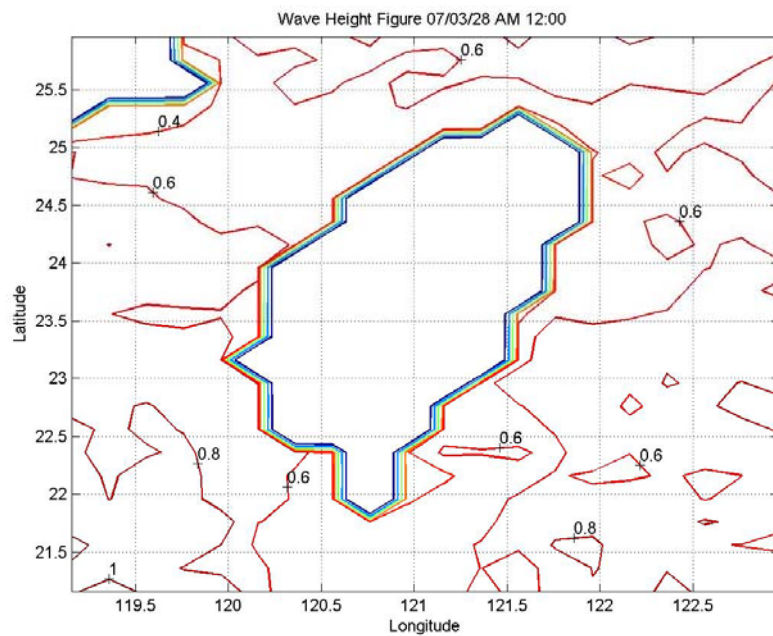


圖 2-10(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/28 AM 12:00)

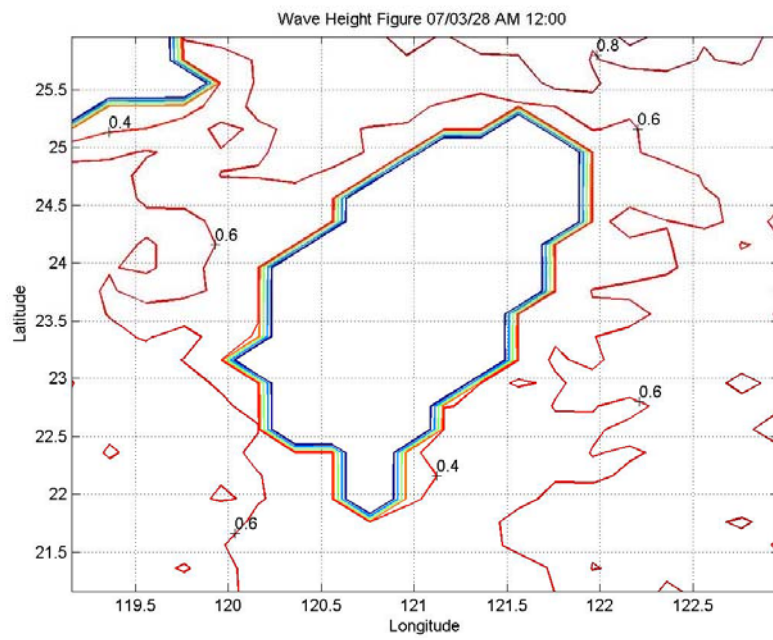


圖 2-10(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/28 AM 12:00)

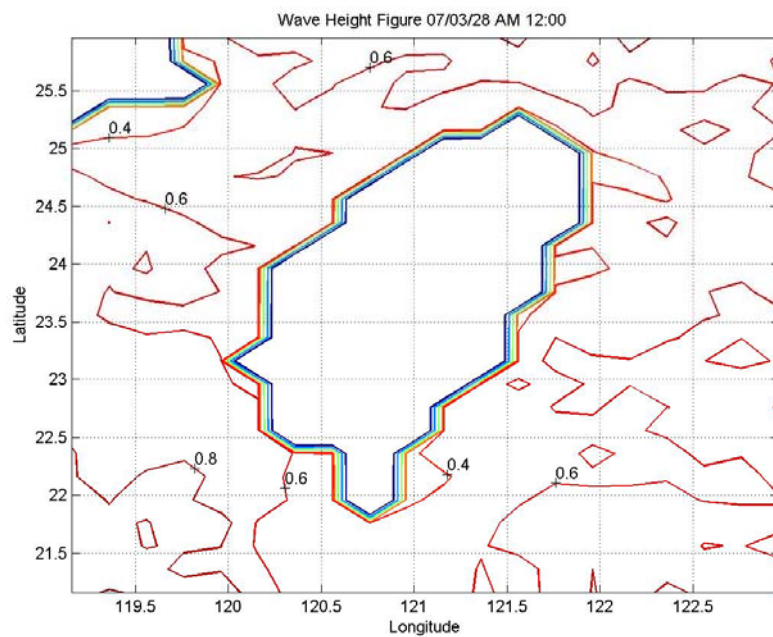


圖 2-10(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/28 AM 12:00)

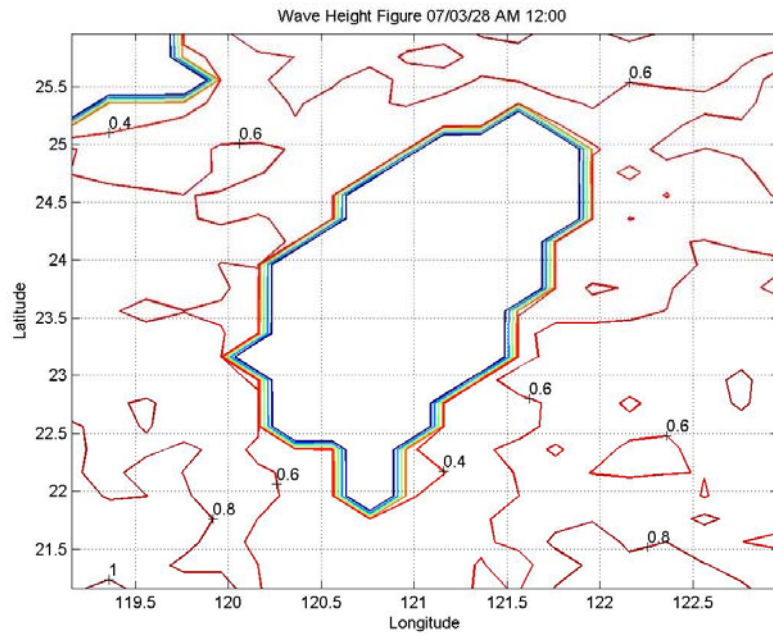


圖 2-10(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/28 AM 12:00)

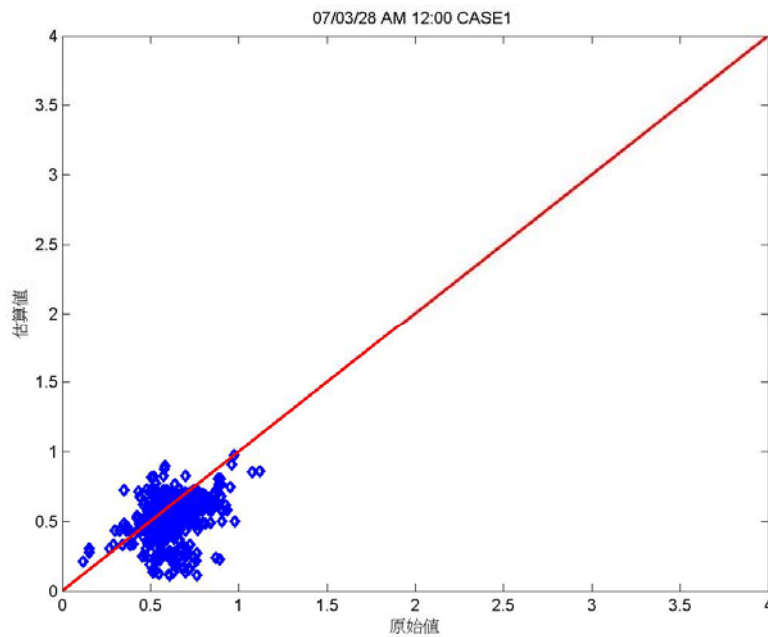


圖 2-10(e) 第五個時間四組波高分布重建結果之偏離分析(單位: m)
(2007/03/28 AM 12:00)

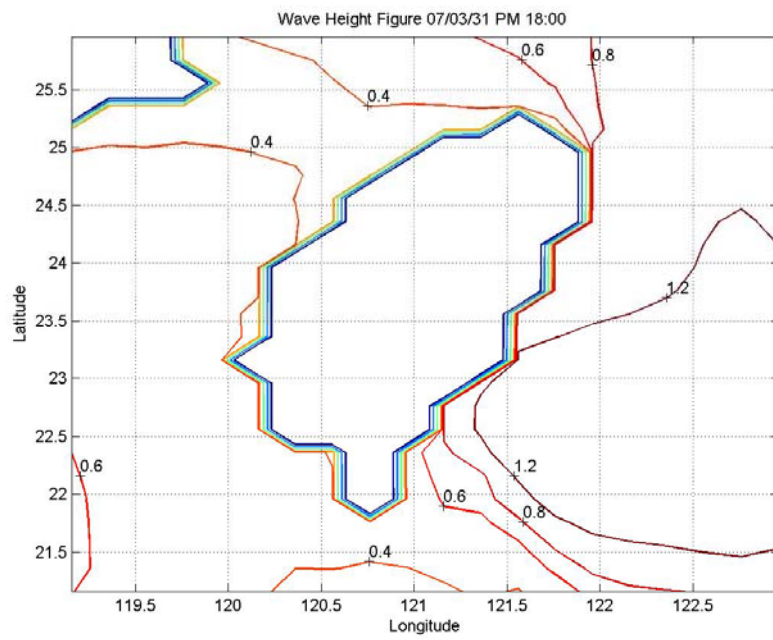


圖 2-11 第六個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/31 PM 18:00)

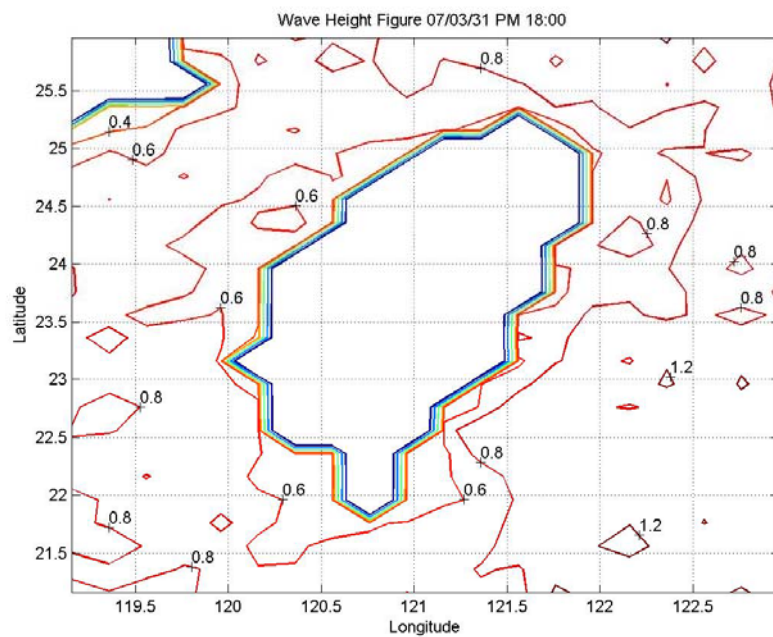


圖 2-12(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/31 PM 18:00)

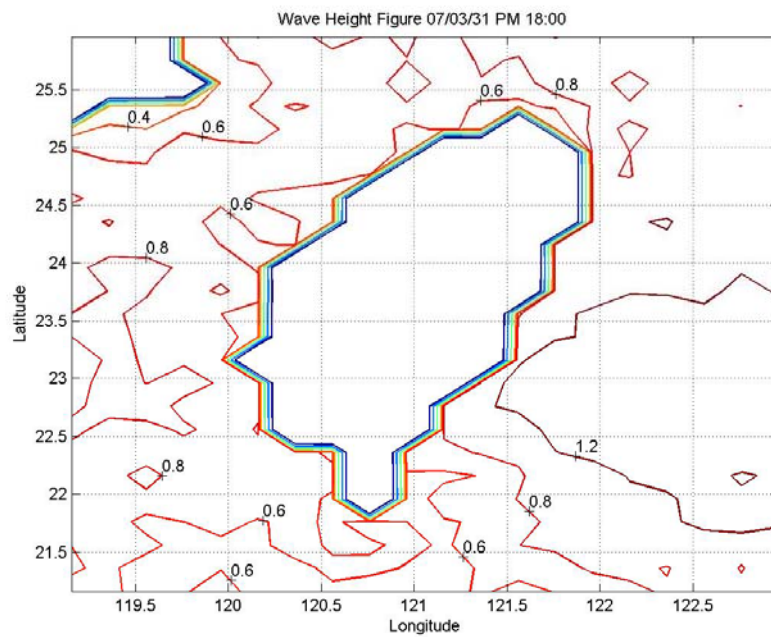


圖 2-12(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/31 PM 18:00)

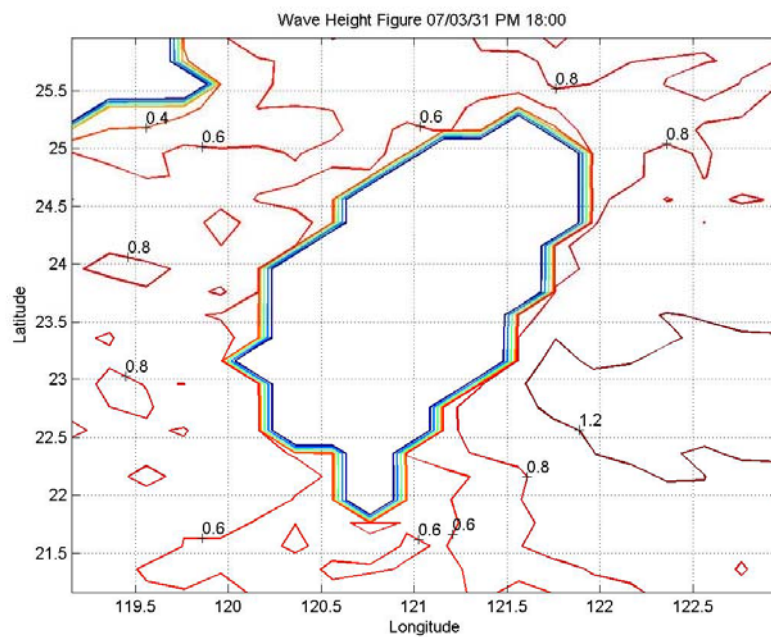


圖 2-12(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/31 PM 18:00)

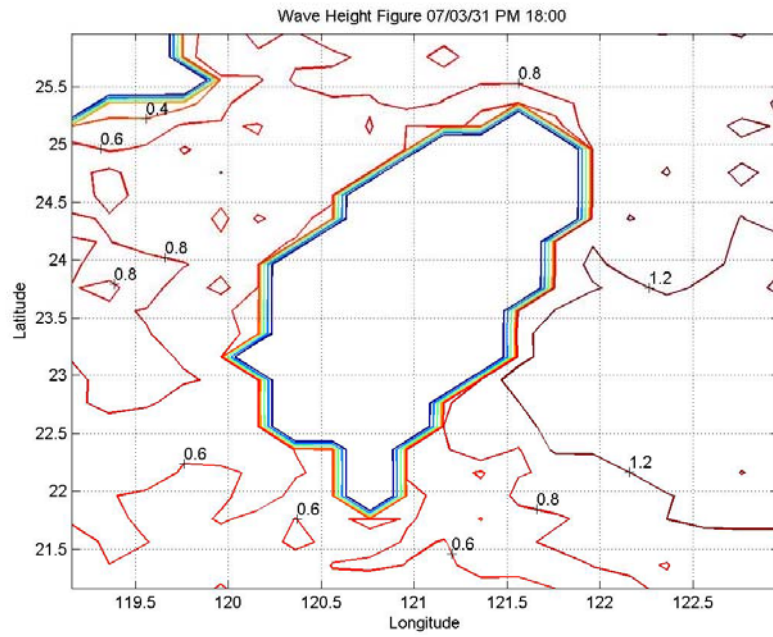


圖 2-12(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/31 PM 18:00)

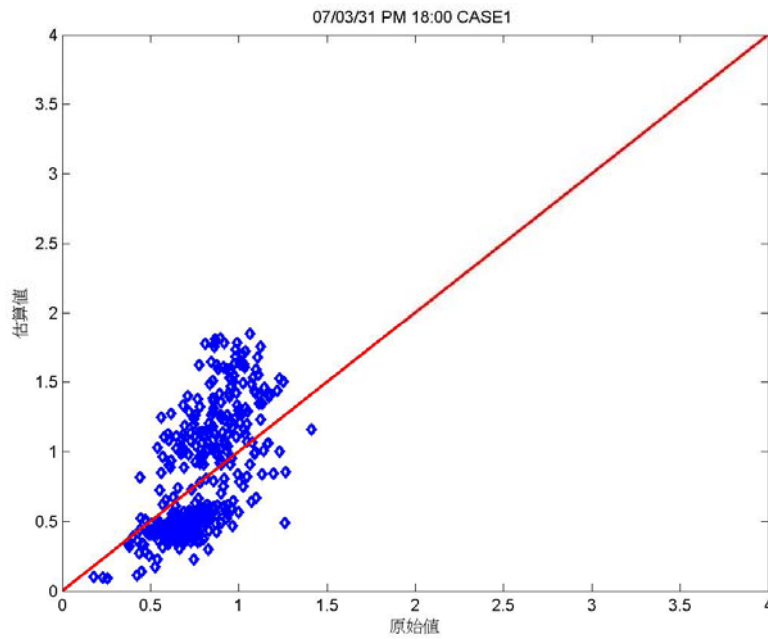


圖 2-12(e) 第五個時間四組波高分部重建結果之偏離分析(單位: m)
(2007/03/31 PM 18:00)

2.2 間隔 3 小時之類神經網路模式訓練與重建

原始資料為 101 x 126 的網格點，本節中同樣將網格點之間隔加大，成為一個 20 x 25 的網格面。並先用波高為例加以分析並繪圖。訓練樣本使用間隔 3 小時全部的資料作為訓練樣本，亦即每日 8 組，共構成 248 組資料，隨機再由 20 X 25(共 500 點)網格中取出 50 個點作為訓練樣本(248 組中每組個別產生 100 個訓練樣本資料，亦即構成 24800 筆訓練資料)。訓練完成後再由該月份內任意選取六個時間的資料(同樣不一定為 AM 12:00 與 PM 12:00 的資料)個別重新隨機抽取 4 組樣本反算原樣本全貌，並個別繪圖與比較確認。

圖 2-13 所示為第一個時間 2007/03/03 AM 12:00 原始資料所畫出的波高等高線圖，而圖 2-14(a)~圖 2-14(d)為類神經網路模式訓練完成後，就該時間 2007/03/03 AM 12:00 之資料，四次重新隨機抽取 50 個波高點資料，反算出的 412 個波高點所繪製成的波高等高線圖。此外 2-14(e)則表示第一個時間的原始資料和所對應的反算結果資料所作之偏離分析。同樣依序以 2007/03/05 PM 15:00(第二個時間)、2007/03/13 PM 12:00(第三個時間)、2007/03/17 AM 06:00(第四個時間)、2007/03/28 AM 12:00(第五個時間)以及 2007/03/31 PM 18:00(第六個時間)的資料為例，分別顯示原始資料之波高等高線圖，以及類神經網路模式訓練完成後就該時間的資料，四次重新隨機抽取 50 個波高點資料，反算出 412 個波高點所繪製的波高等高線圖。依序分別如圖 2-15 及圖 2-16(a)~圖 2-16(e)、圖 2-17 及圖 2-18(a)~圖 2-18(e)、圖 2-19 及圖 2-20(a)~圖 2-20(e)、圖 2-21 及圖 2-22(a)~圖 2-22(e)及圖 2-23 及圖 2-24(a)~圖 2-24(e)所示。

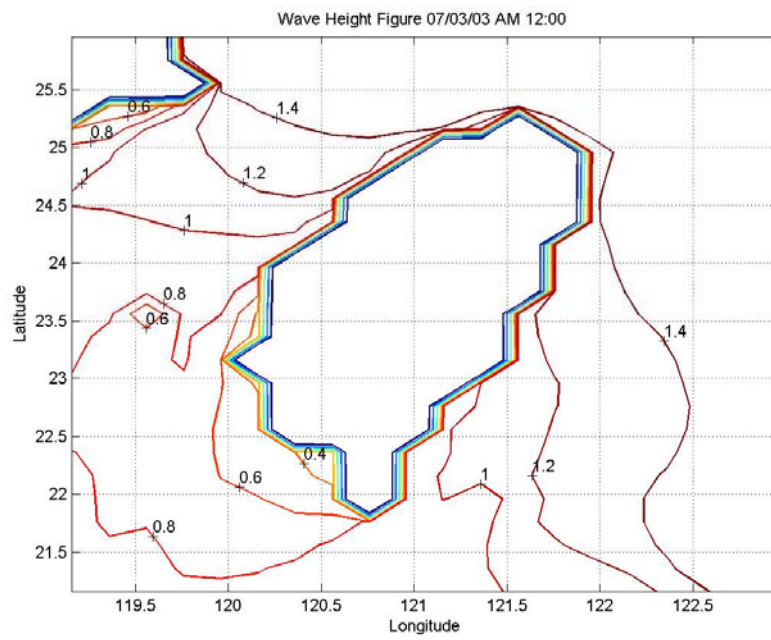


圖 2-13 第一個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/03 AM 12:00)

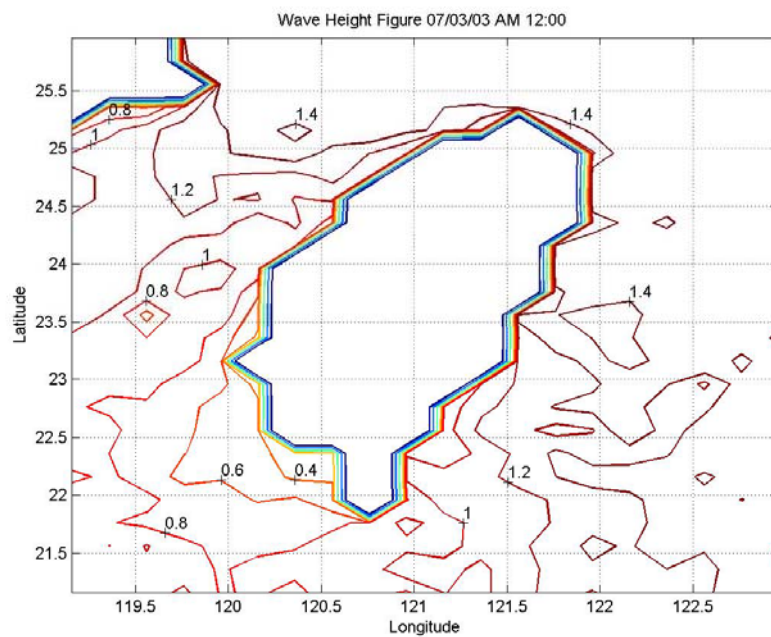


圖 2-14(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/03 AM 12:00)

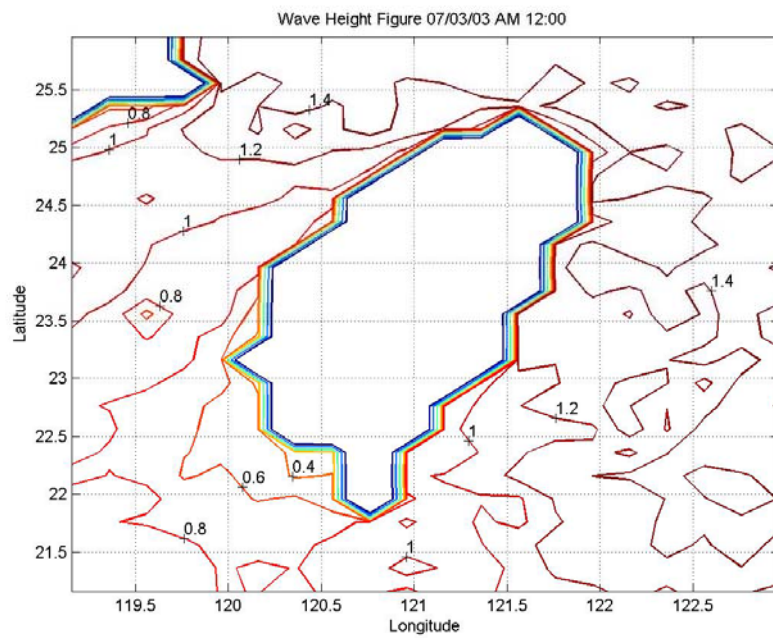


圖 2-14(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/03 AM 12:00)

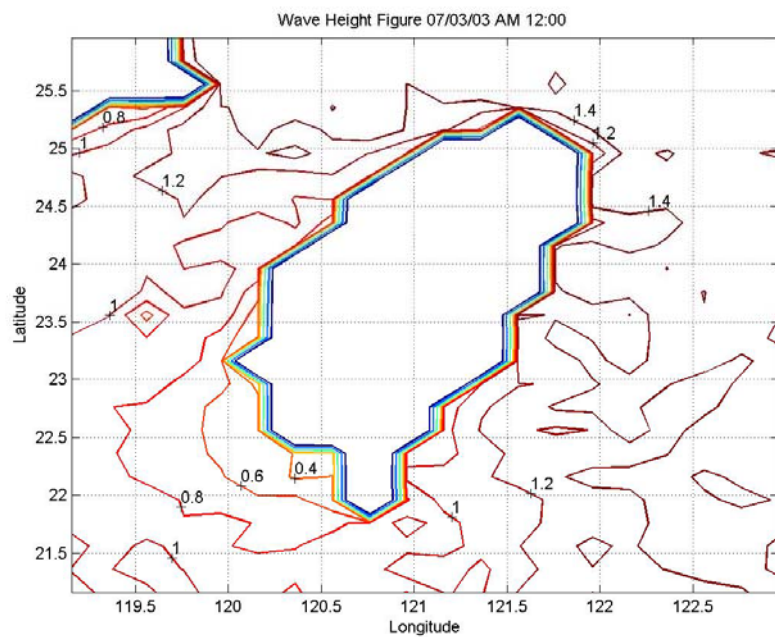


圖 2-14(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/03 AM 12:00)

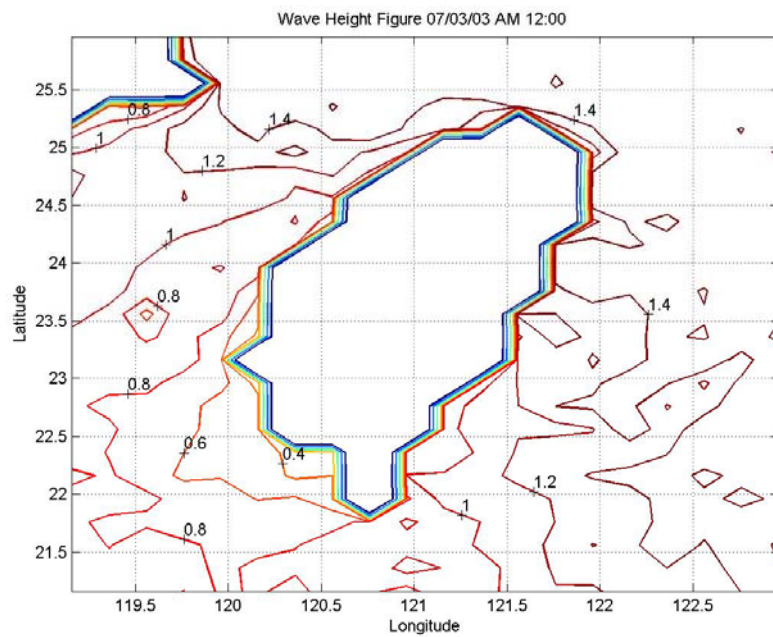


圖 2-14(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/03 AM 12:00)

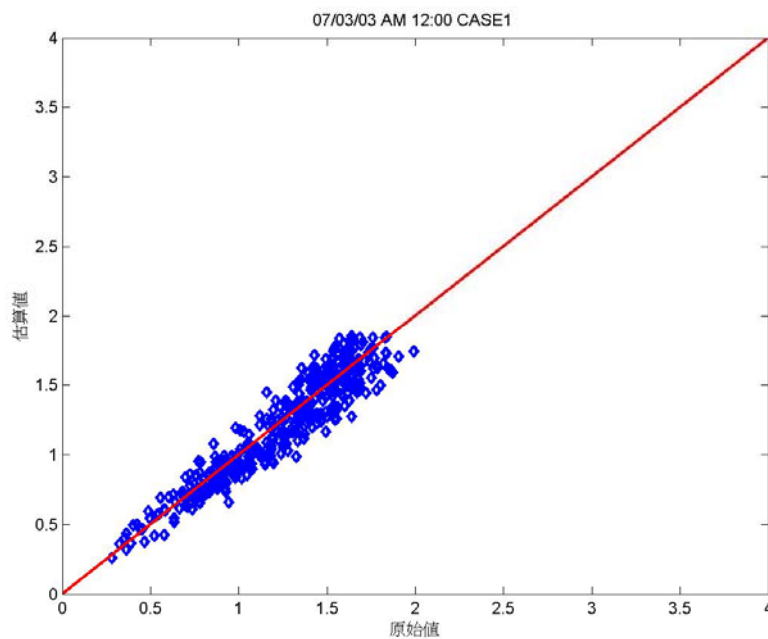


圖 2-14(e) 第一個時間四組波高分布重建結果之偏離分析(單位: m)
(2007/03/03 AM 12:00)

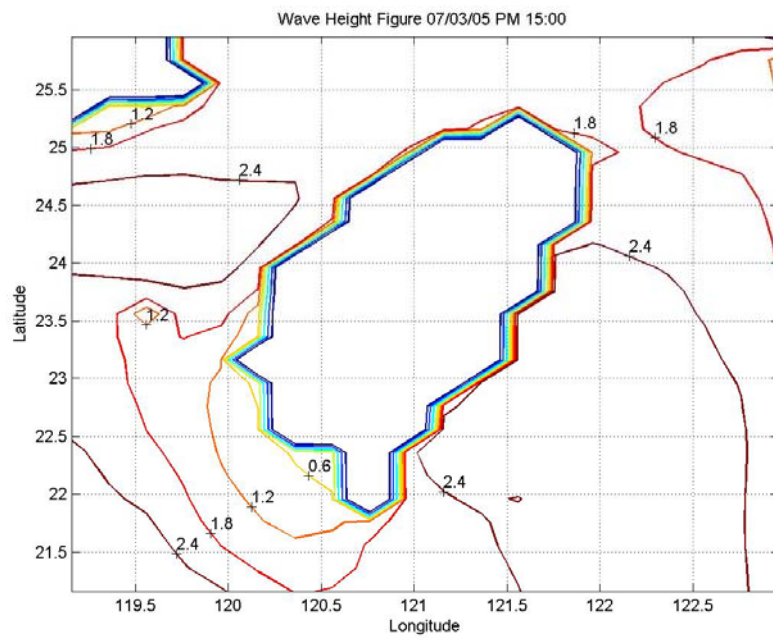


圖 2-15 第二個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/05 PM 15:00)

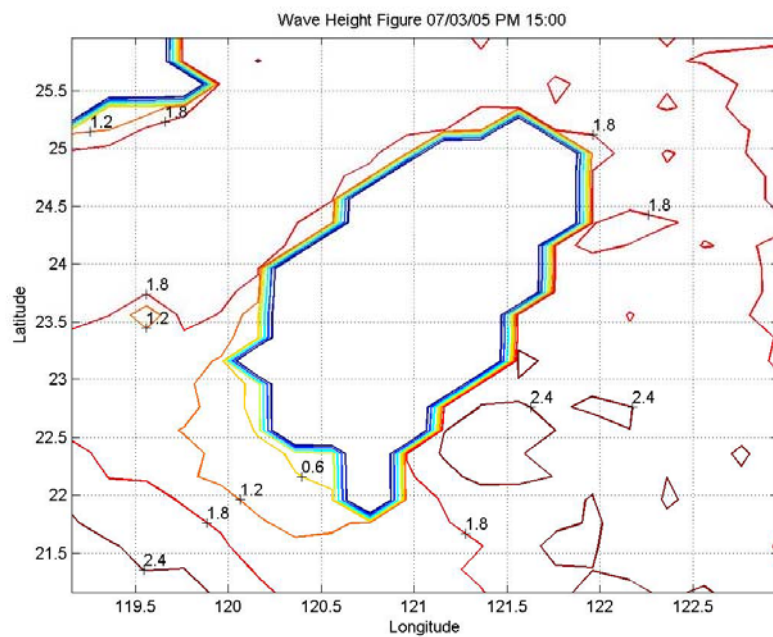


圖 2-16(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/05 PM 15:00)

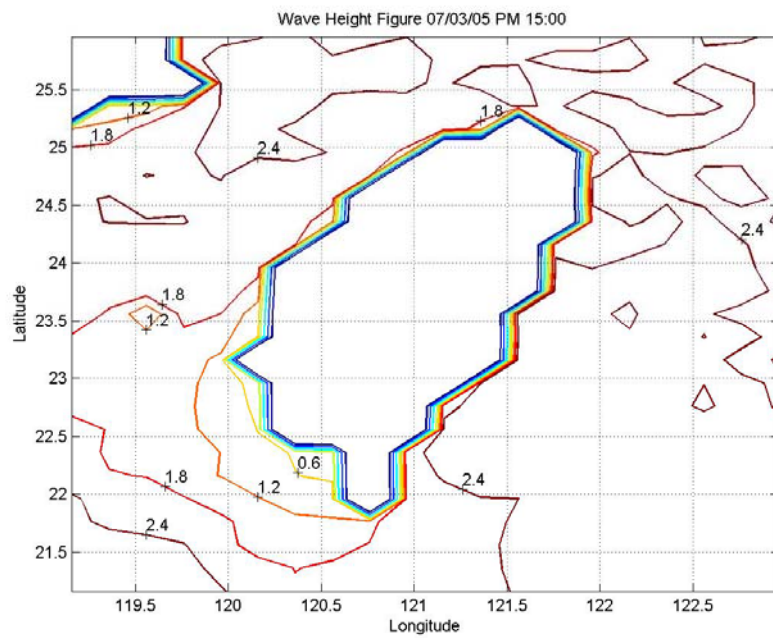


圖 2-16(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/05 PM 15:00)

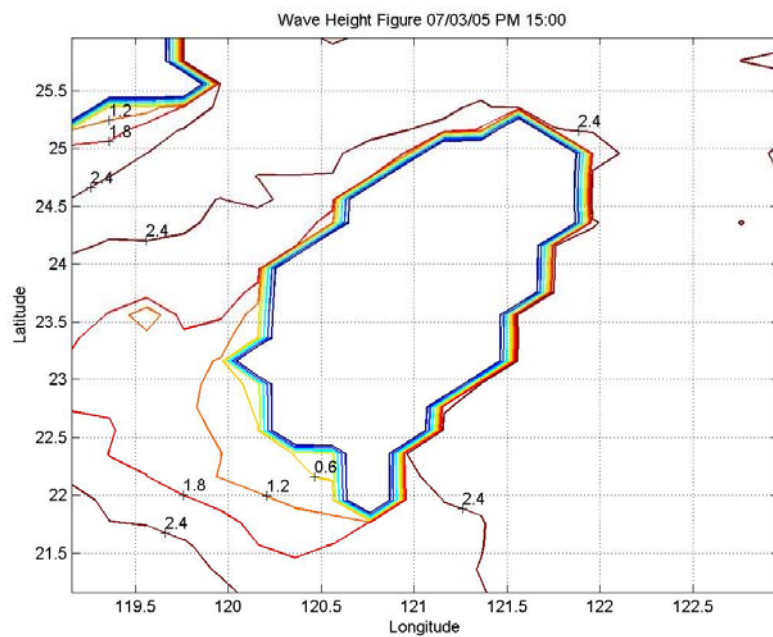


圖 2-16(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/05 PM 15:00)

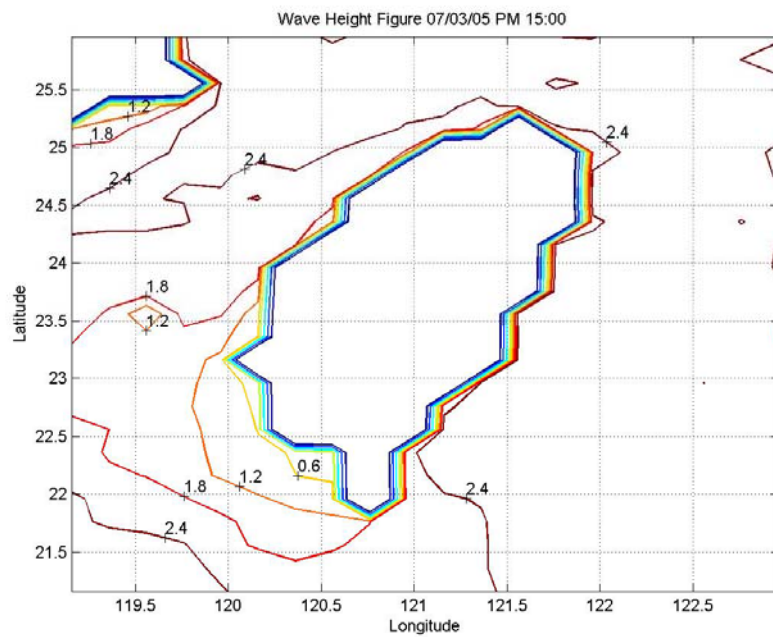


圖 2-16(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/05 PM 15:00)

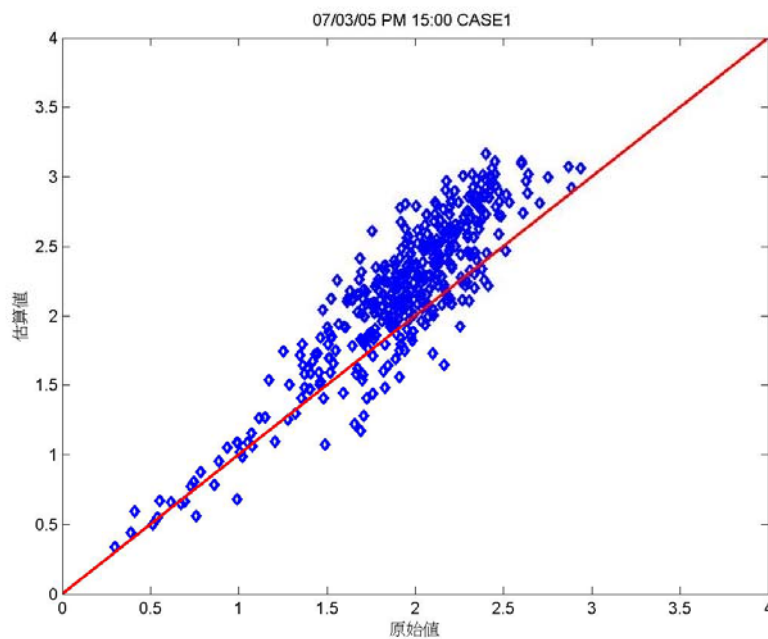


圖 2-16(e) 第二個時間四組波高分布重建結果之偏離分析(單位: m)
(2007/03/05 PM 15:00)

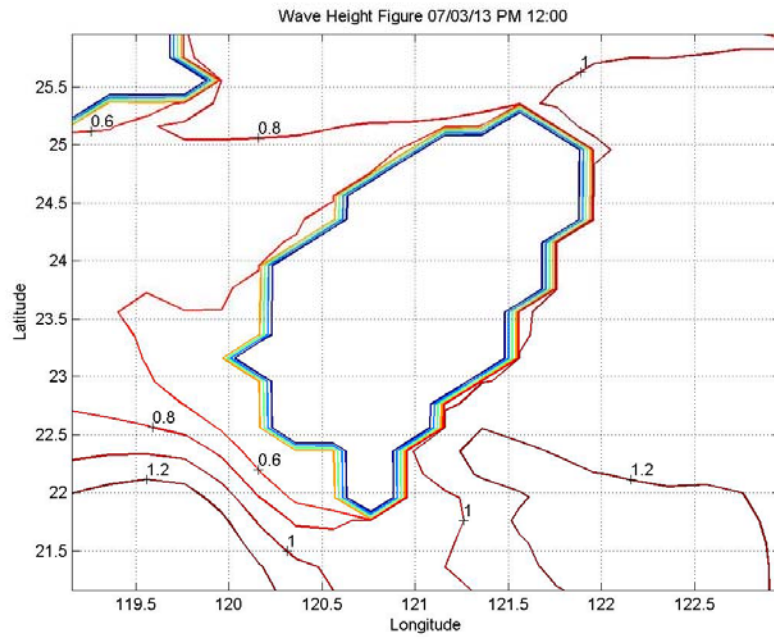


圖 2-17 第三個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/13 PM 12:00)

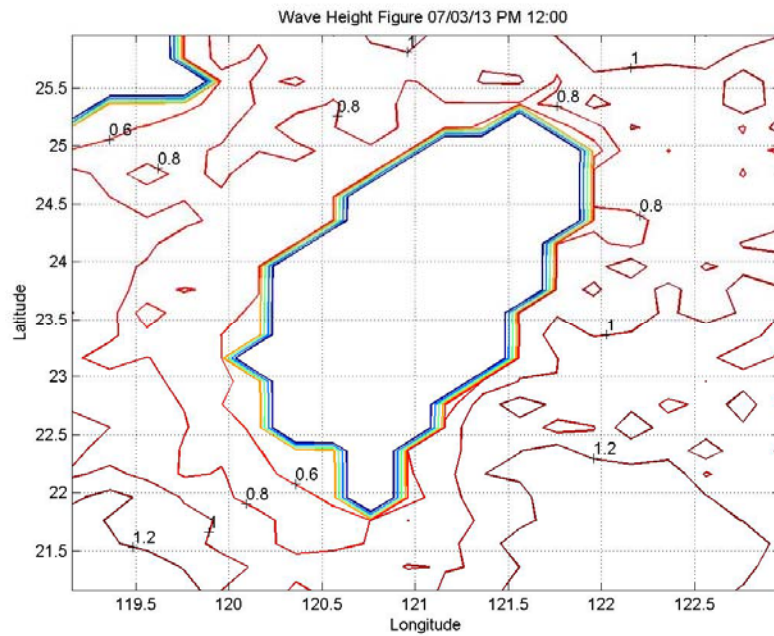


圖 2-18(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/13 PM 12:00)

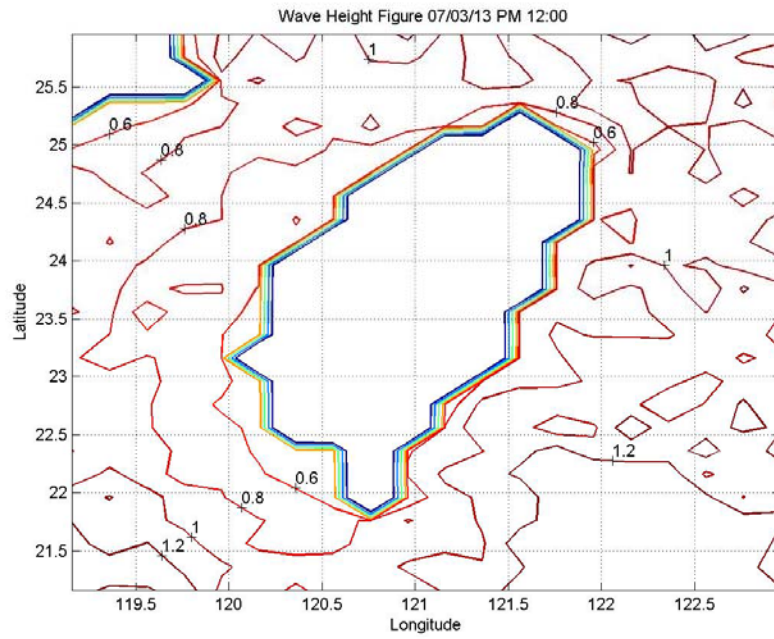


圖 2-18(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/13 PM 12:00)

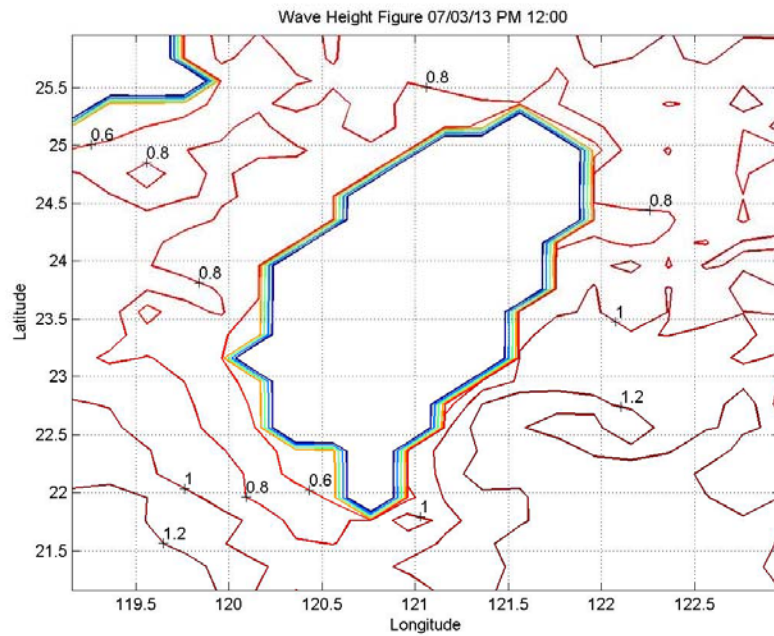


圖 2-18(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/13 PM 12:00)

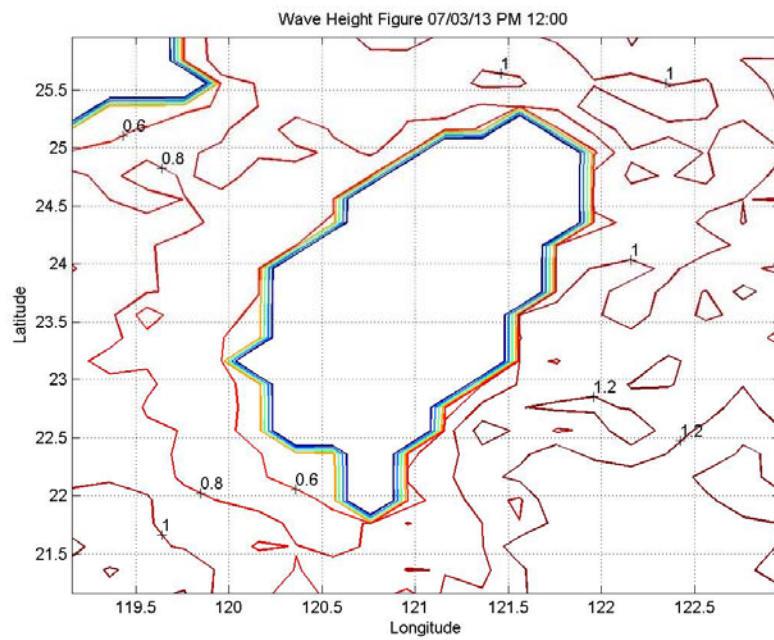


圖 2-18(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/13 PM 12:00)

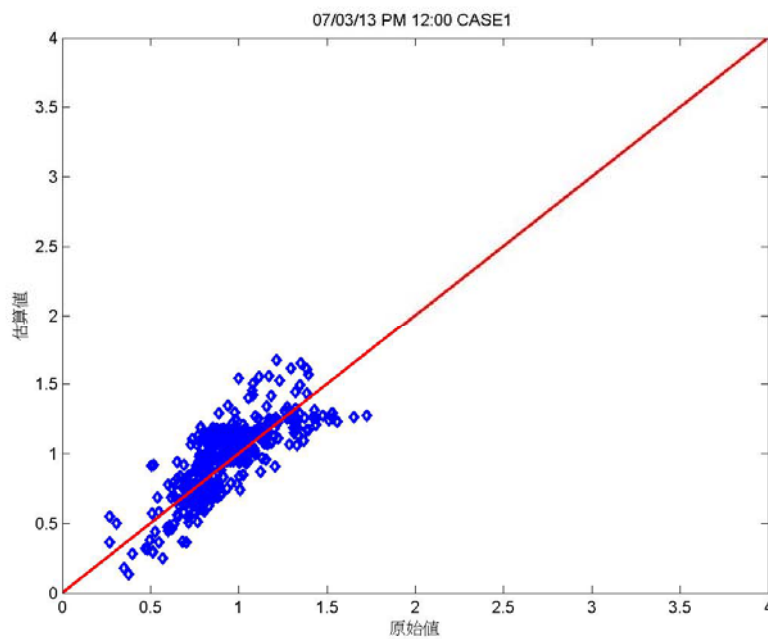


圖 2-18(e) 第三個時間四組波高分布重建結果之偏離分析(單位: m)
(2007/03/13 PM 12:00)

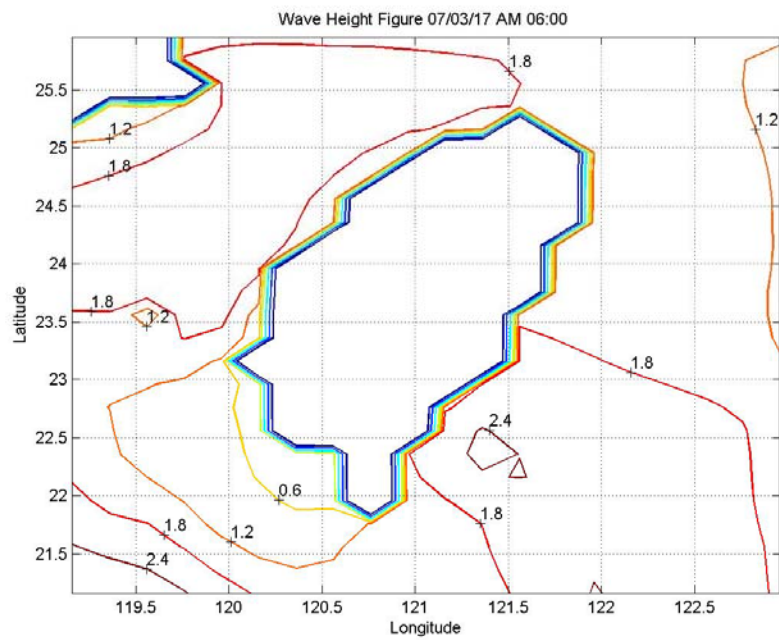


圖 2-19 第四個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/17 AM 06:00)

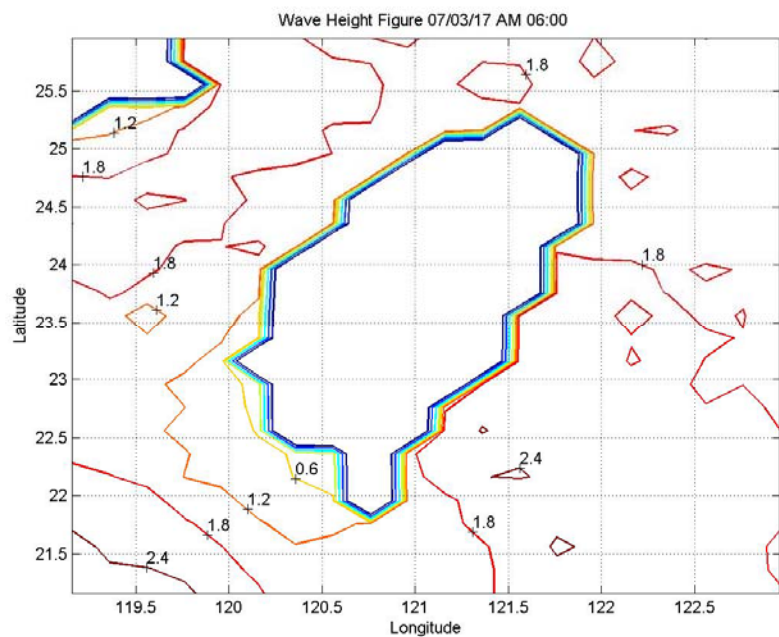


圖 2-20 (a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/17 AM 06:00)

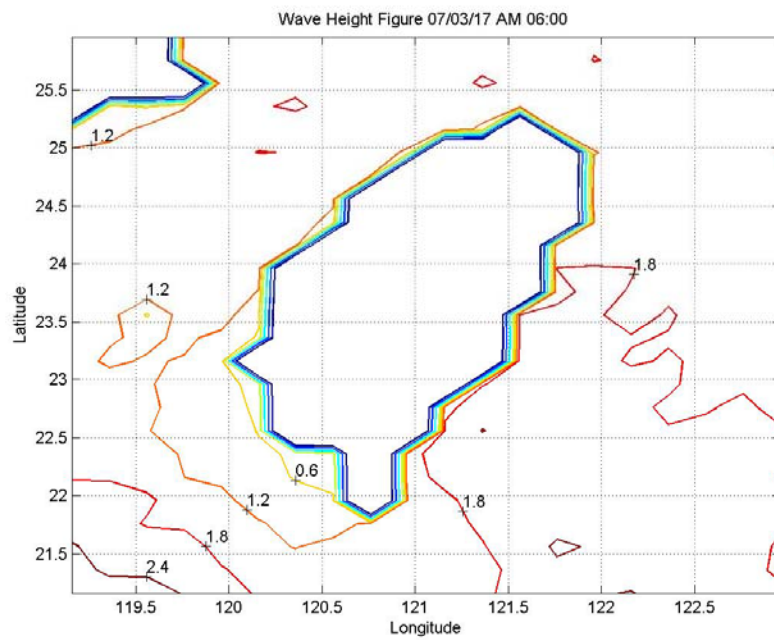


圖 2-20(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/17 AM 06:00)

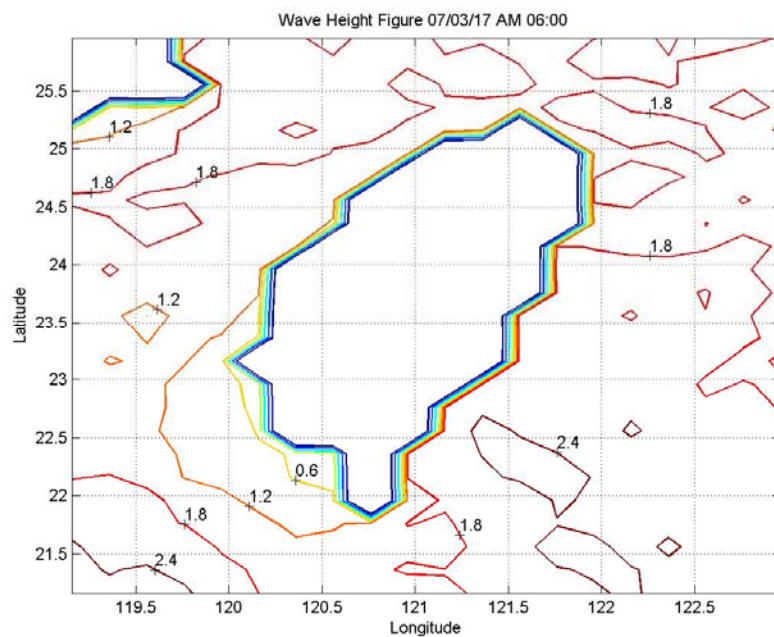


圖 2-20(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/17 AM 06:00)

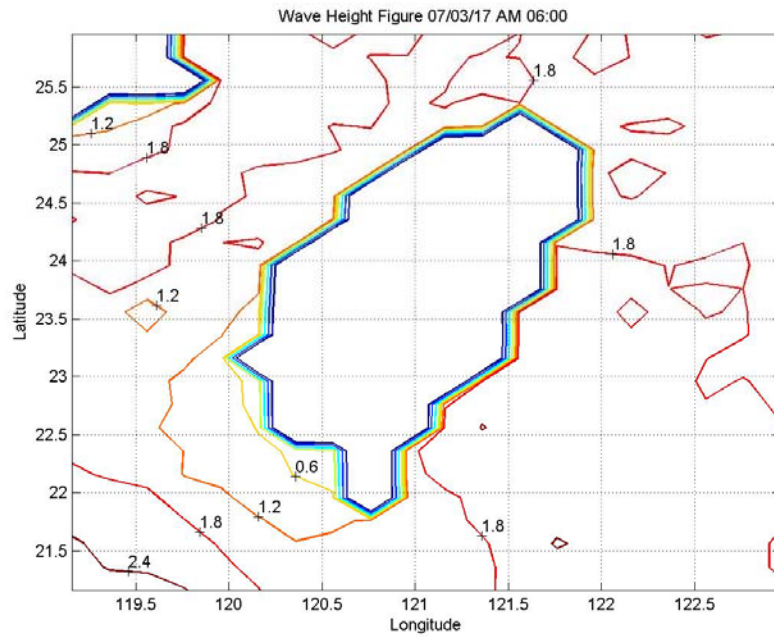


圖 2-20(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/17 AM 06:00)

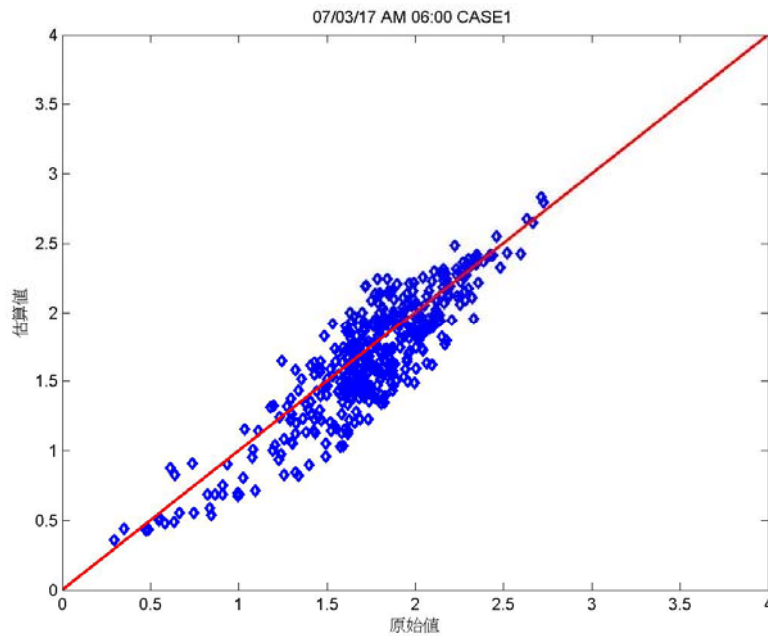


圖 2-20(e) 第四個時間四組波高分布重建結果之偏離分析(單位: m)
(2007/03/17 AM 06:00)

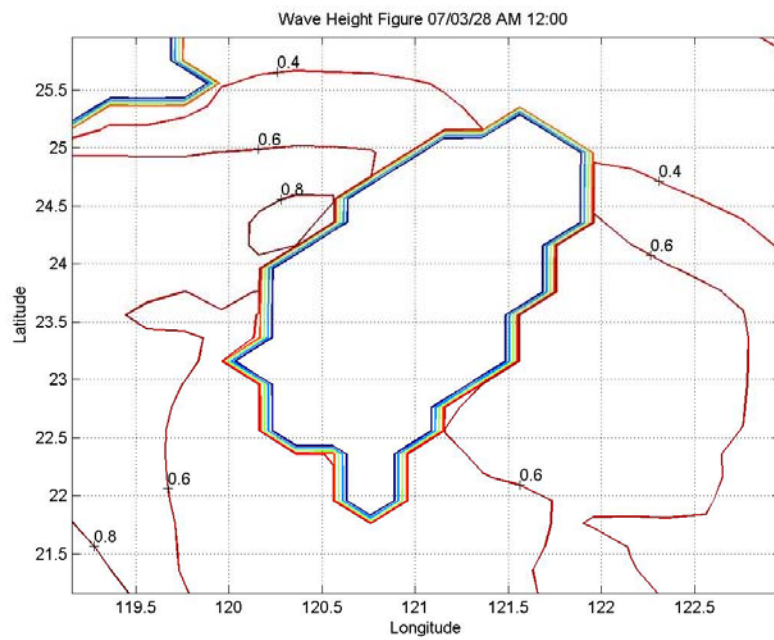


圖 2-21 第五個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/28 AM 12:00)

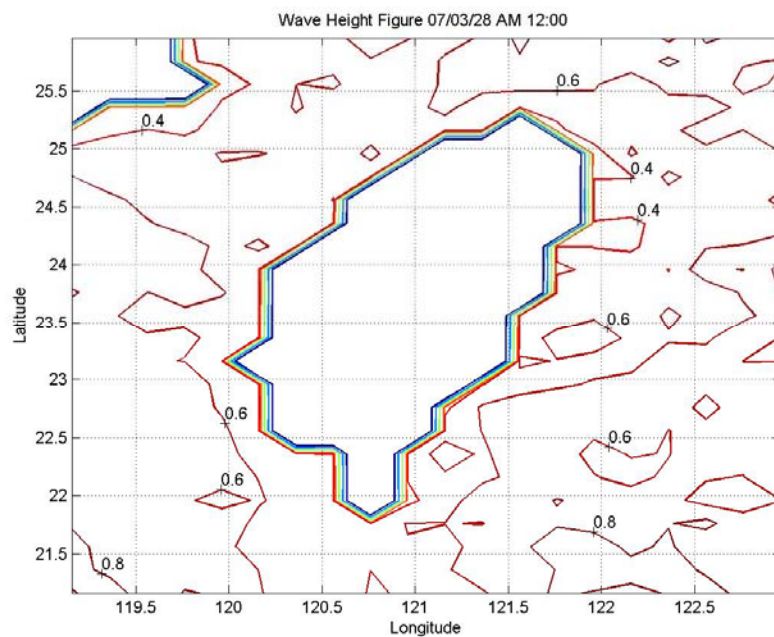


圖 2-22(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/28 AM 12:00)

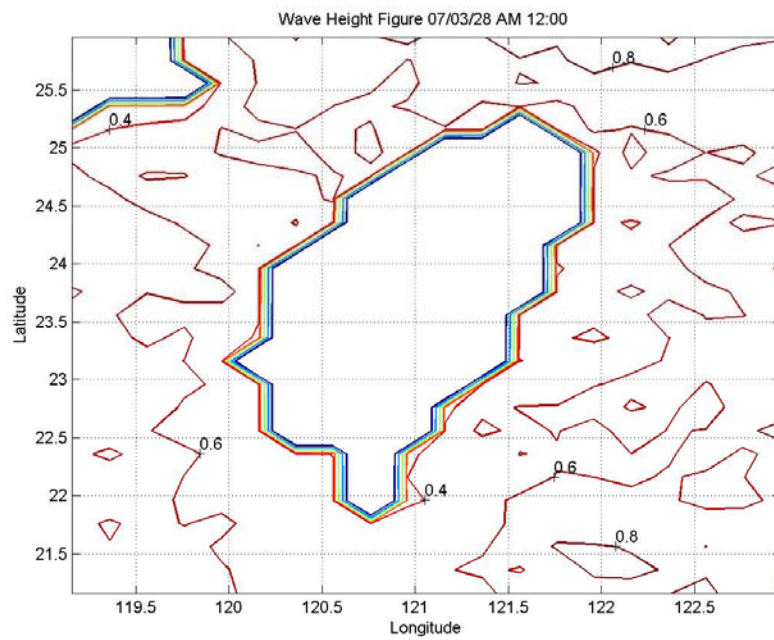


圖 2-22(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/28 AM 12:00)

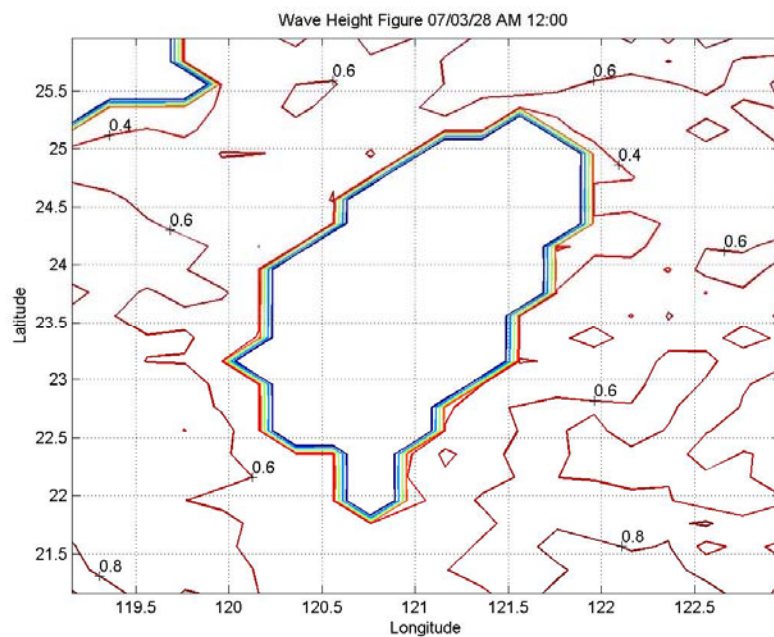


圖 2-22(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/28 AM 12:00)

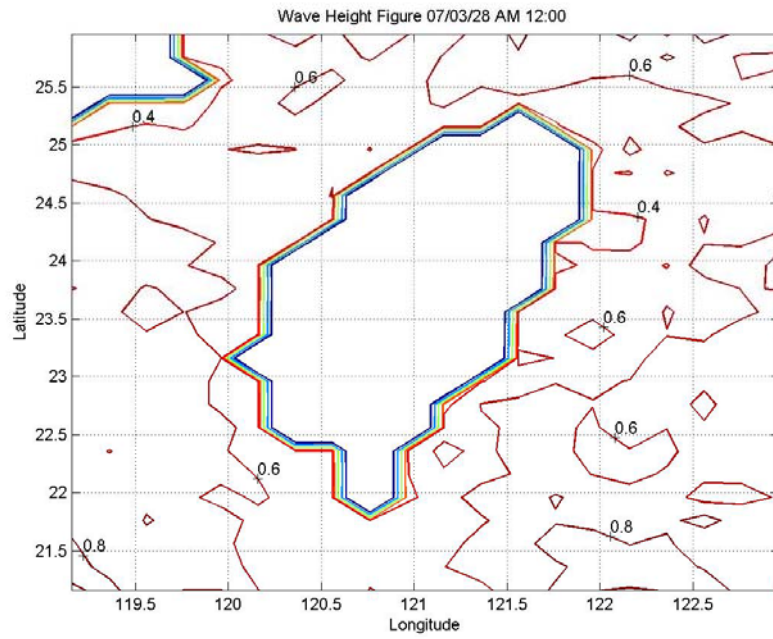


圖 2-22(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/28 AM 12:00)

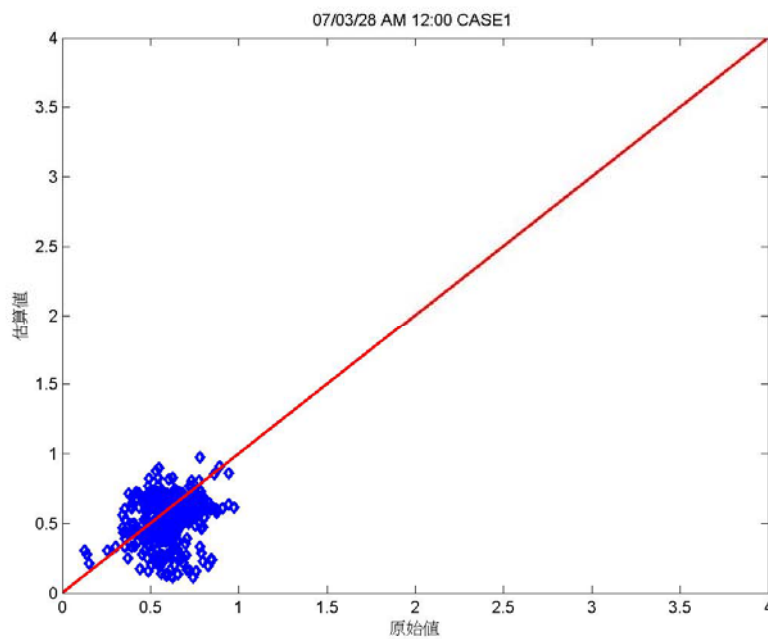


圖 2-22(e) 第五個時間四組波高分布重建結果之偏離分析(單位: m)
(2007/03/28 AM 12:00)

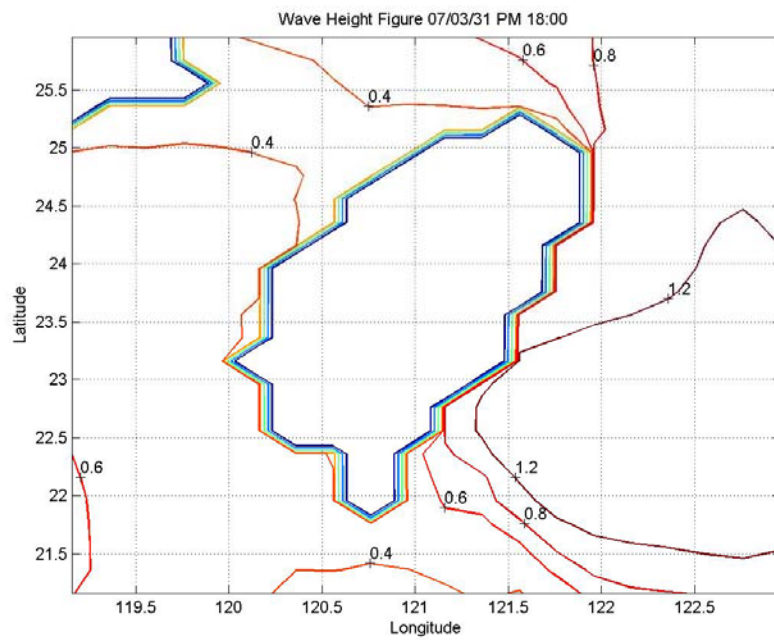


圖 2-23 第六個時間原始資料所畫出的波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/31 PM 18:00)

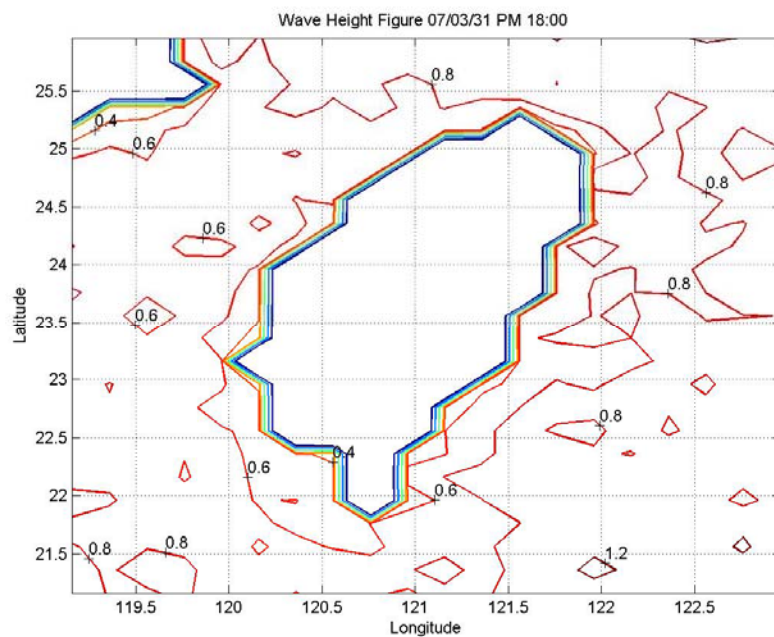


圖 2-24(a) 經由類神經網路計算出的第一組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/31 PM 18:00)

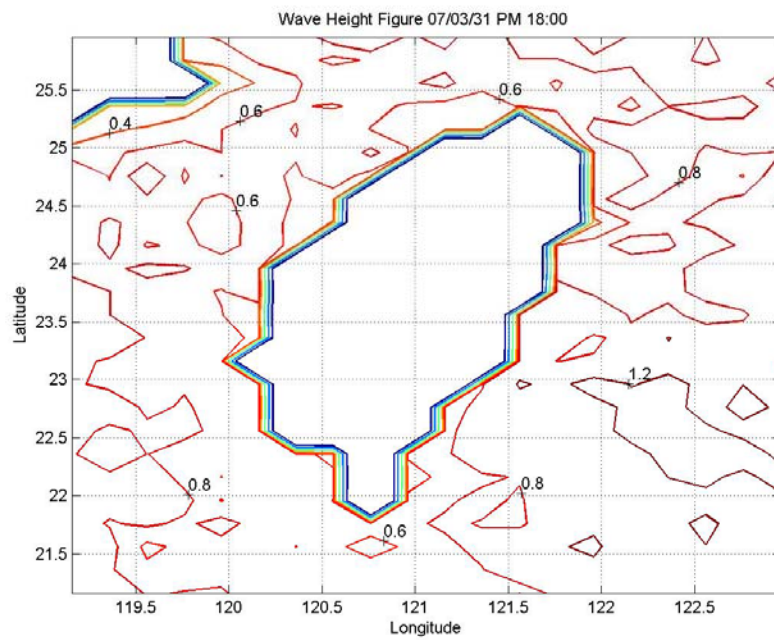


圖 2-24(b) 經由類神經網路計算出的第二組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/31 PM 18:00)

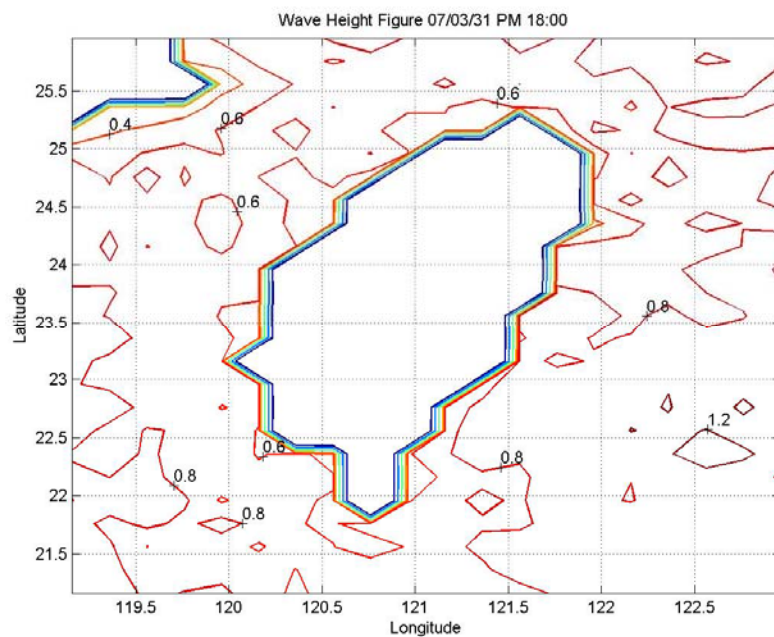


圖 2-24(c) 經由類神經網路計算出的第三組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/31 PM 18:00)

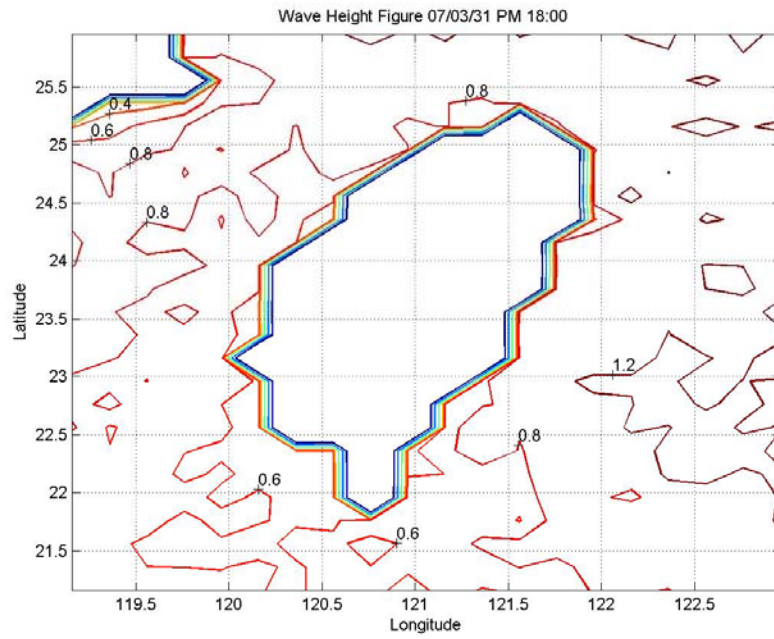


圖 2-24(d) 經由類神經網路計算出的第四組波高等高線圖(單位: m)
(2007/03/31 PM 18:00)

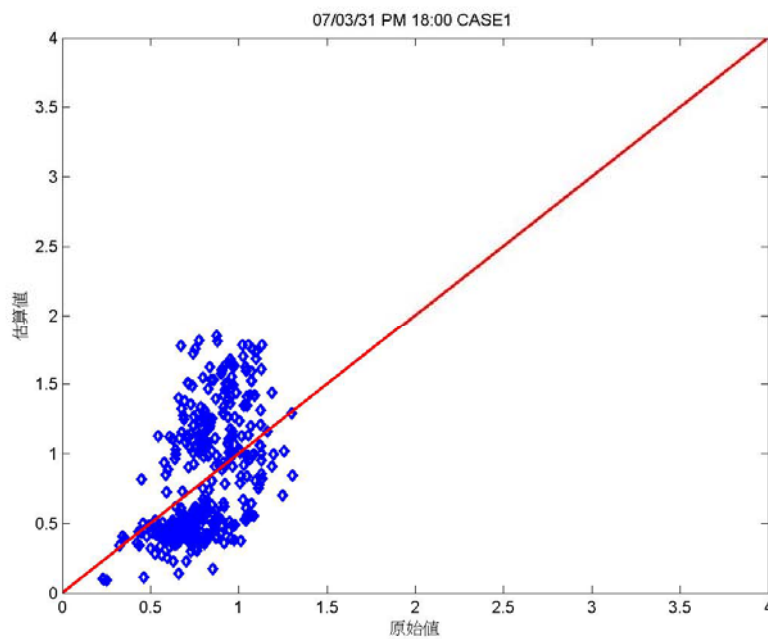


圖 2-24(e) 第六個時間四組波高分布重建結果之偏離分析(單位: m)
(2007/03/31 PM 18:00)

2.3 比較與討論

完成 12 小時間隔與 3 小時間隔之類神經網路架構訓練與重建後，分別測試其精確性，本研究使用了平均波高誤差、波高標準偏差(%平均波高)以及相關係數來做為評斷其準確性的指標，而其個別之比較圖如下所示，圖 2-25 為兩模式間平均波高誤差之比較，由此我們可以發現在 3 小時間隔的類神經網路模式下有較低的誤差，但是其誤差與 12 小時間隔的類神經網路模式差異性並不大。圖 2-26 為兩模式間波高標準偏差之比較，我們亦可發現在 3 小時間隔的類神經網路模式下有較低的誤差，但其與 12 小時間隔的類神經網路模式差異性亦不大。圖 2-27 為兩模式間相關係數之比較，我們可以發現到在相關係數中反而 12 小時間隔之類神經網路模式有較好的表現。雖然 3 小時間隔的類神經網路模式較 12 小時間隔之類神經網路模式之表現好，但因為其準確度並未大幅度之改善，但因為其訓練資料量龐大，造成類神經網路的訓練相對費時(約為 12 小時間隔模式之 4~5 倍時間)，因此本研究認為使用 12 小時間隔之類神經網路模式應已足夠。

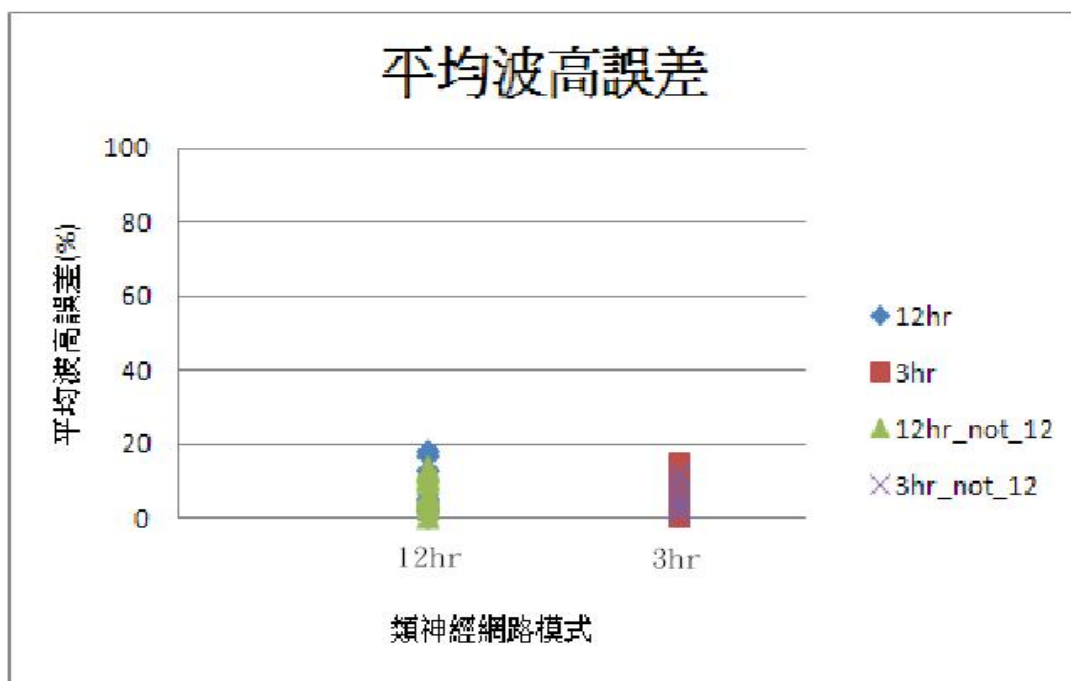


圖 2-25 平均波高誤差比較圖

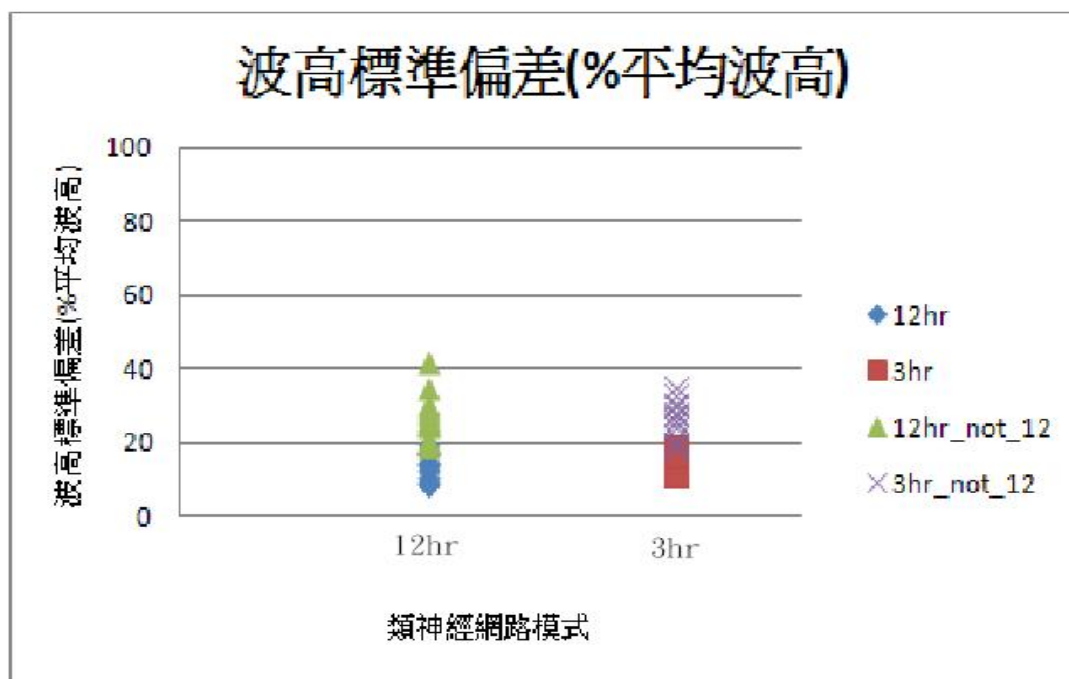


圖 2-26 波高標準偏差(%平均波高)比較圖

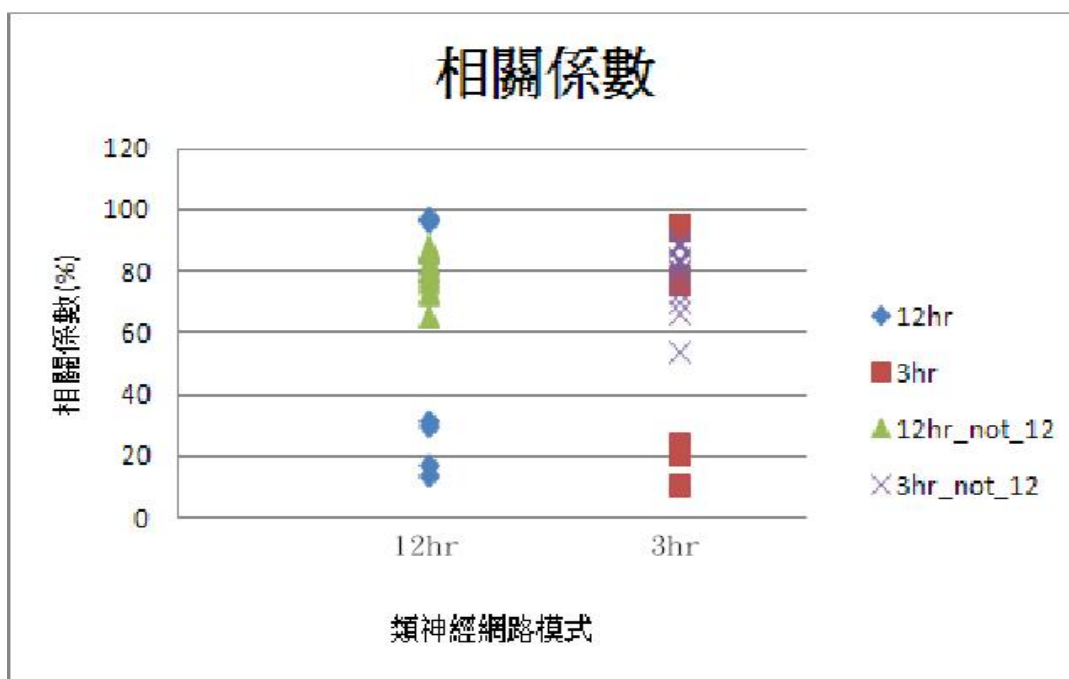


圖 2-27 相關係數比較圖

第三章 臺灣海域即時波浪場之推算模擬

3.1 模擬流程

首先蒐集 TaiCOMS 每筆間隔 3 小時的資料建構臺灣海域波浪場做為模擬標的，並以每筆間隔 12 小時的資料進行波浪場重建類神經網路訓練，做為重建波浪場的類神經網路。其次計算船舶運動反應函數，並進行波浪反算類神經網路訓練，模擬作為波浪感測的船舶。然後任意設定船舶於某一測試時間的位置、航向、船速條件，模擬船舶執勤狀態。其次，依據該時間、該位置，取得波高、週期及波向資料，模擬船舶實際遭遇的海況。於是，據此計算船體運動以及感測器所在位置的感測訊號如加速度時間歷程等，模擬船舶在實海域中的感測。然後分析波浪反算類神經網路所需要的船舶運動統計相關的 17 個輸入數據，並代入波浪反算類神經網路計算出該時空下的波高、週期、波向及船速，此即模擬波浪反算。其次，彙整 50 艘船舶的波浪返算資料代入以每筆間隔 12 小時的資料所訓練的波浪場重建類神經網路進行波浪場全貌重建，此即模擬本系統對於波浪場全貌重建的結果，最後與 TaiCOMS 的原始波浪場資料進行比較驗證，包含偏離分析等。前述步驟可整理如圖 3-1 所示模擬流程。

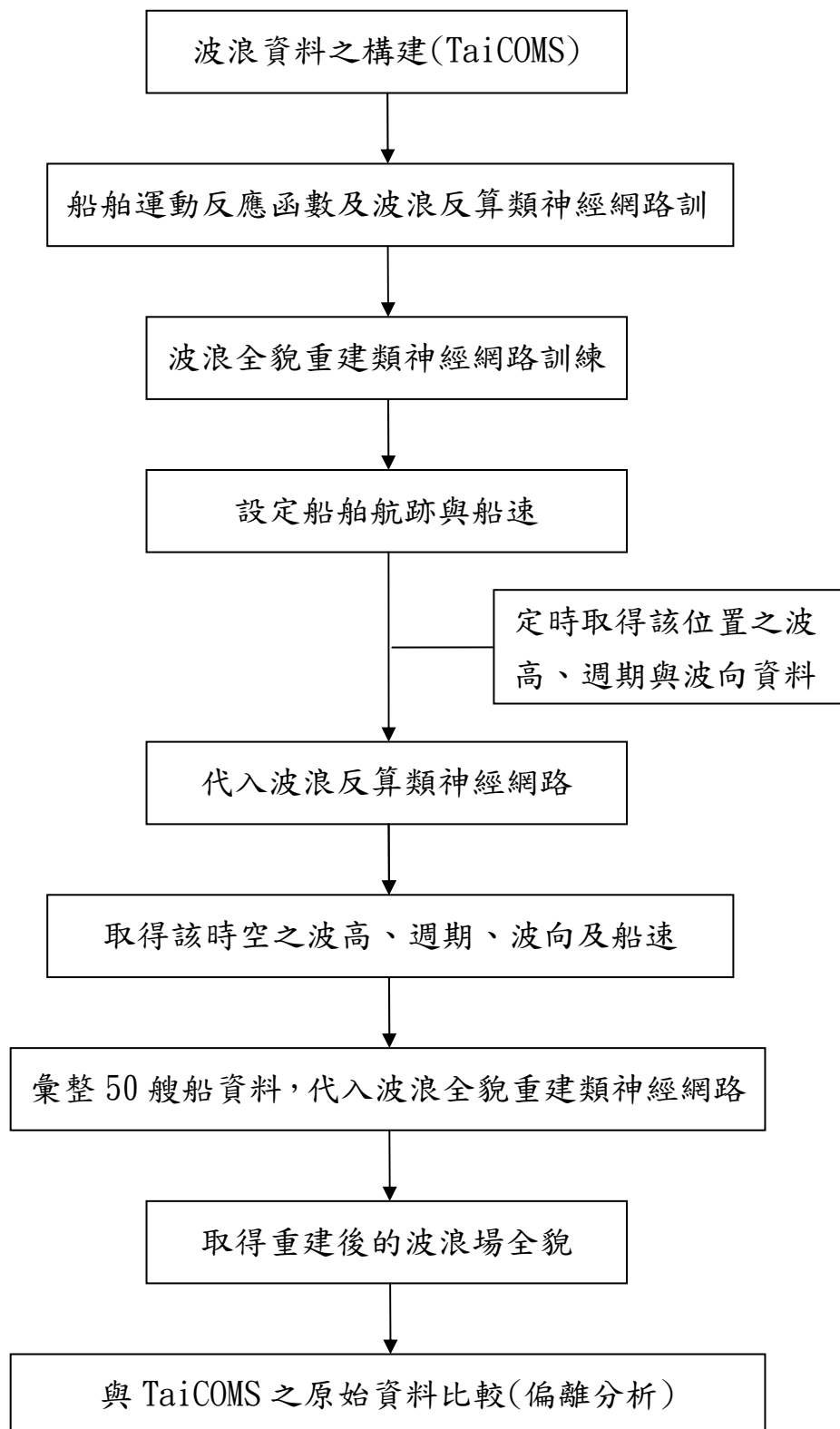


圖 3-1 模擬流程

3.2 波浪中的船體運動反應計算

本研究計算船體在短峰不規則波(short crested irregular waves)中航行時的船體運動反應，本方法假設船體在波浪中的運動反應適用線性疊加原理 (principle of linear superposition)。

3.2.1 短峰不規則波

短峰不規則波的描述是由點波譜 (point spectrum)以及散佈函數 (spreading function)所組成。

$$S(\omega, \mu) = S(\omega) \cdot M(\mu) \quad (3-1)$$

其中， $S(\omega)$ 為點波譜， $M(\mu)$ 為散佈函數。

$$M(\mu) = \frac{1}{\mu_s} \cos^n \left[\left(\frac{\mu}{\mu_s} \right) \frac{\pi}{2} \right] \quad , \quad -\mu_s \leq \mu \leq \mu_s \quad (3-2)$$

$$M(\mu) = 0 \quad , \quad \text{其他}$$

上式中， μ_s 為主波向兩側成分波散佈角度範圍

μ 為成分波與主波向之間的夾角

以 $\cos^2$ 分佈函數為例，取 $n=2$ 且 $\mu_s = \frac{\pi}{2}$ ，即

$$M(\mu) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \mu \quad , \quad -\frac{\pi}{2} \leq \mu \leq \frac{\pi}{2} \quad (3-3)$$

$$M(\mu) = 0 \quad , \quad \text{其他}$$

本研究中採用 ISSC (1979) 之點波譜及(1-3)式所示 $\cos^2$ 分佈函數。

ISSC (1979) 點波譜可以表示如下：

$$S(f) = 0.257 H_v^2 T_v (T_v f)^{-5} \exp[-1.03(T_v f)^{-4}] \quad (3-4)$$

上式中， $H_v = H_{\frac{1}{3}}$ (目視波高=示性波高)

$$T_v = T_{H\frac{1}{3}} = T_p / 1.05 \text{ (目視平均週期=示性週期)}$$

若將頻率 f 改寫為角頻率 ω ，即 $\omega = 2\pi f$ ，則可將(3-4)式改寫成為

$$\frac{S(\omega)}{H_v^2} = 0.257 \omega_v^{-1} \left(\frac{\omega}{\omega_v}\right)^{-5} \exp[-1.03\left(\frac{\omega}{\omega_v}\right)^{-4}] = f(\omega) \quad (3-5)$$

式中 $\omega_v = 2\pi / T_v = 2\pi / T_{H\frac{1}{3}}$

於是由上式可得知，只要決定示性週期 $T_{H\frac{1}{3}}$ 就可設定出波譜 $f(\omega)$ 。本研究對各 $T_{H\frac{1}{3}}$ 設定對應的示性波高 $H_{\frac{1}{3}}$ ，並將點波譜區分成 77 個等間距之成份波，依下式算出各成份波波高：

$$H_{wci} = 2 \times H_{1/3} \times \sqrt{2 \times f(\omega_i) \times \Delta\omega} \quad (3-6)$$

式中， $f(\omega_i) \times \Delta\omega$ 為各成份波所佔波譜面積，基於等能量的考量，將高頻處剩餘的面積並入第 77 個成分波，將低頻處剩餘的面積併入第 1 個成分波。

程式中設定適當 $H_{\frac{1}{3}}$ 與 $T_{H\frac{1}{3}}$ 之組合(或從 TaiCOMS 資料中取得)，

於是短峰不規則波系可表示如下式：

$$\zeta(x, y, t) = \sum_i \sum_j \zeta_{ij} \quad (3-7)$$

$$\text{上式中，} \zeta_{ij} = \overline{\zeta_{ij}} \cos[(x \cos \mu_j + y \sin \mu_j) - \omega_i t - \varphi_{ij}] \quad (3-8)$$

$$\text{且 } \langle \zeta^2(t) \rangle = E = \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \overline{\zeta_{ij}^2} = \int_0^\infty \int_0^{2\pi} S(\omega, \mu) d\mu d\omega \quad (3-9)$$

$$\overline{\zeta_{ij}} = \sqrt{2S(\omega_i, \mu_i) \delta\omega \delta\mu} \quad (3-10)$$

$$S(\omega) = \int_0^{2\pi} S(\omega, \mu) d\mu \quad ; \quad \zeta_i = \sum_j \zeta_{ij} \quad (3-11)$$

$$\text{則 } E = \int_0^\infty S(\omega) d\omega = \frac{1}{2} \sum_i \overline{\zeta_i^2} \quad (3-12)$$

本研究將散佈函數區分成每間格 10 度的 18 個成分波。

3.2.2 短峰不規則波中的船體運動反應

令規則波中船體運動反應函數(RAO)為 $A(U, \omega_{eij}, \chi - \mu_j)$ ，於是短波頂不規則波中之船體運動可表示如下式：

$$\xi(t) = \sum_i \sum_j \overline{\zeta_{ij}} \cos[\omega_{eij}t + \varphi_{ij}] A(U, \omega_{eij}, \chi - \mu_j) \quad (3-13)$$

上式中， φ_{ij} 為各成分波間的相位角， χ 為波之主方向與船行進方向間之夾角， μ_j 是成分波與波之主方向間之夾角，於是 $\chi - \mu_j$ 即是成分波與船之行進方向之夾角， U 為船速。且

$$\omega_{eij} = \omega_i - \frac{\omega_i^2 U \cos(\chi - \mu_j)}{g} \quad (3-14)$$

3.2.3 短峰不規則波中的船體運動反應模擬結果

本研究依照上述方法完成模擬計算程式，圖 3-2 所示為其中一例，模擬 100 噸艇在短峰不規則波中之起伏、縱搖及側移運動。短峰不規則波之示性波高為 1.6(m)，示性週期為 5(sec)，波向與航向夾角 0 度(順浪)。

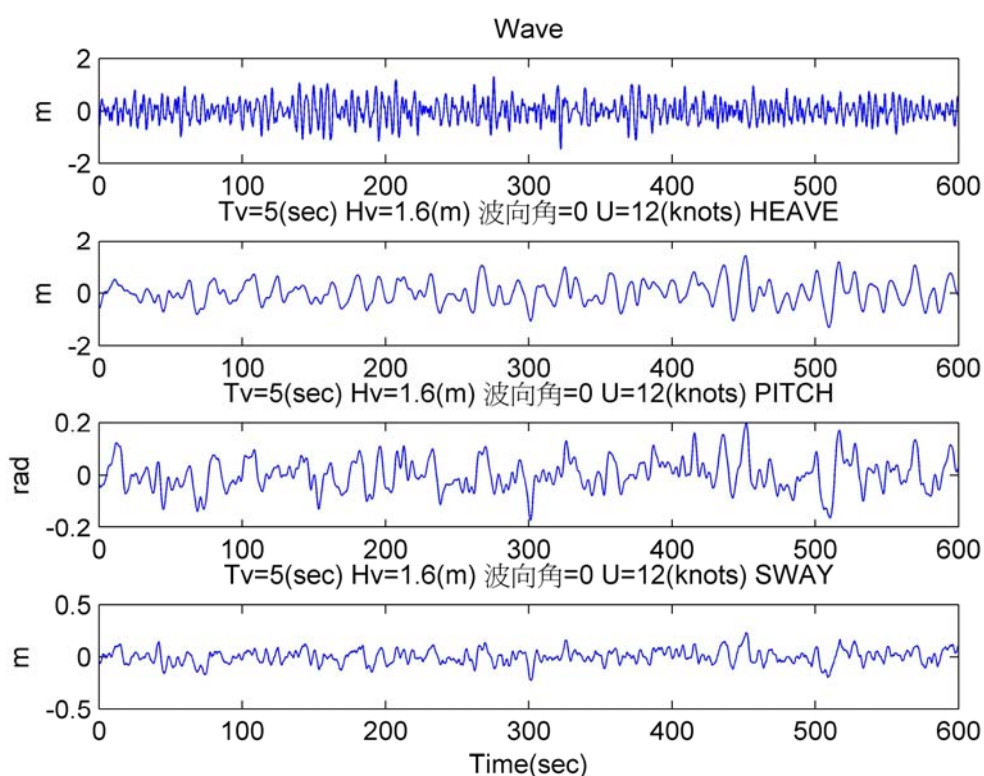


圖 3-2 船體運動模擬例(時間序列)

圖 3-2 所示結果依序為波浪、起伏(heave)、縱搖(pitch)以及側移(sway)之運動反應時間歷程。對此時間歷程作快速傅立葉分析(FFT)處理後可以得到各運動模態之分散譜(variance spectrum)，其結果如圖 3-3 所示。其後即可進而依下述各式分析運動統計特徵值以作為波浪反算類神經網路的輸入資料。

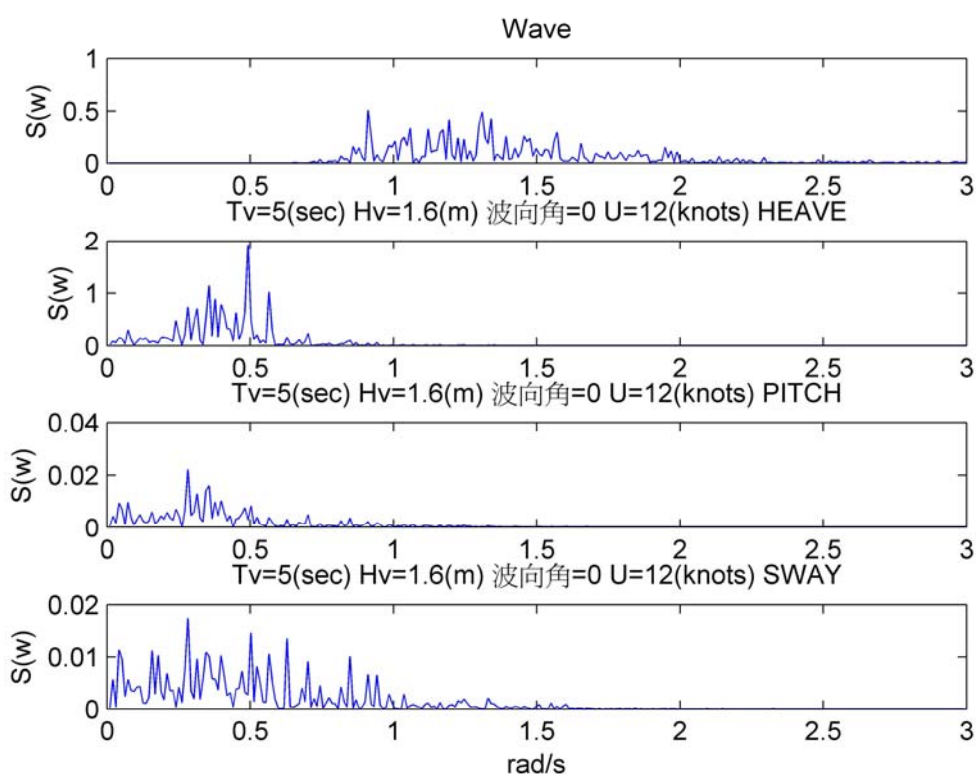


圖 3-3 船體運動模擬例(分散譜)

由於此模擬範例波向與航向夾角為 0 度(順浪)，因此由圖 3-3 可以發現船體運動之頻率較波浪之頻率為低，此即為受到遭遇頻率之影響所致。

得到各運動模式之分散譜後，可依據 $m_n \equiv \int_0^{\infty} \omega^n S(\omega) d\omega$ 得到各運

動模式之 m_0 、 m_1 、 m_2 即 m_4 。於是，本艇在各浪級與各波向角之短峰不規則波中之起伏、縱搖及側移等運動量的特徵值，包含平均零值間週期 (average zero-crossing period) T_z 、平均峰間週期 (average peak-to-peak period) T_c 、平均頻率對應週期 (period corresponding to average frequency of component waves) T_1 、頻寬參數 (spectral broadness parameter) ε 、運動量示性雙振幅 (Significant double amplitude of motion) $H_{1/3}$ 及運動加速度示性雙振幅 (significant double amplitude of acceleration) $HA_{1/3}$ ，即可依下列諸式計算而得。

$$T_z = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (3-15)$$

$$T_c = 2\pi \sqrt{\frac{m_2}{m_4}} \quad (3-16)$$

$$T_1 = 2\pi / \frac{\int_0^\infty \omega S(\omega) d\omega}{m_0} = \frac{2\pi m_0}{m_1} \quad (3-17)$$

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4}} = \sqrt{1 - \left(\frac{T_c}{T_z}\right)^2} \quad (3-18)$$

$$H_{1/3} = 4.0 \sqrt{m_0} \quad (3-19)$$

$$HA_{1/3} = 4.0 \sqrt{m_4} \quad (3-20)$$

3.3 波浪反算

延續本研究之第一期計畫結果，利用起伏、縱搖及側移運動的 T_z 、 T_c 、 T_1 、 $H_{1/3}$ 、 $HA_{1/3}$ 、起伏 m_0 與側移 m_0 比值及縱搖 m_0 與側移 m_0 比值等合計 17 個運動反應狀態量作為輸入層。並且所使用之類神經架構具備兩層隱藏層(各 10 nodes 即 7 nodes)，而輸出層則為示性波高、示性週期、波向角以及船速。

3.3.1 波浪反算類神經網路之訓練

因考慮到實際狀況中海巡艇在風浪過大時通常不會出海巡航，因此設定類神經網路之訓練範圍在風浪階級六以下，並且在風浪階級一以下額外設定三個更小之階級，合計共九種風浪狀態，其各別之示性波高及對應之示性週期如表 3-1 所示。

表 3-1 各風浪階級資料

	階級 0-1	階級 0-2	階級 0-3	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4	階級 5	階級 6
示性波高 (m)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.8	1.6	2.4	3.2	4.8
示性週期 (sec)	2	2	2	4	4	5	6	8	10

此外將波向角 0~180 度分為 7 個等間距之角度(0 度、30 度、60 度、90 度、120 度、150 度以及 180 度)，因此每一船速下即有 9×7(九種風浪階級和七種波向角度)共 63 組訓練樣本，而在本研究中使用 7 種船速(12 節、16 節、20 節、24 節、26 節、28 節和 30 節)，故共形成 441 筆訓練樣本。波浪反算之類神經網路經訓練後可得到該神經網路之反算結果，其偏離分析如圖 3-4~圖 3-7 所示。

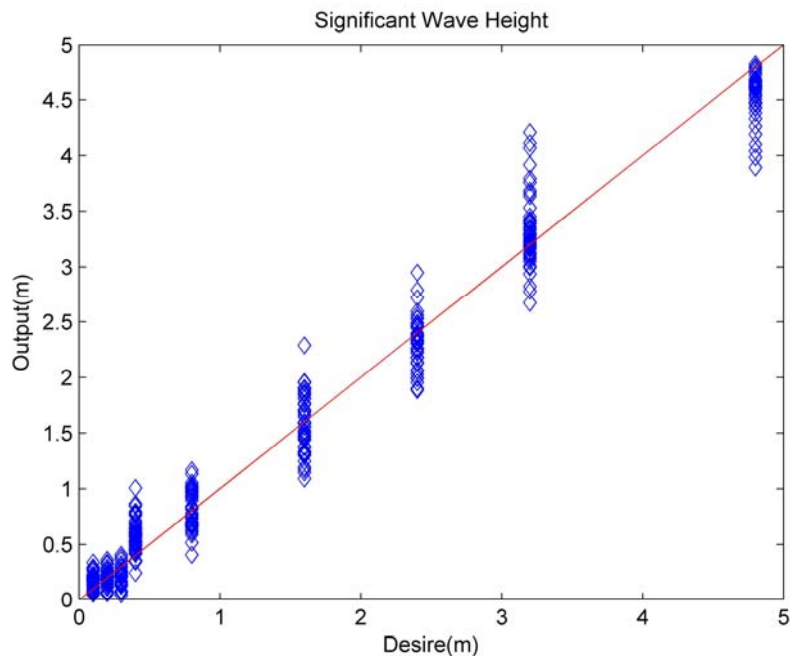


圖 3-4 示性波高反算結果之偏離分析

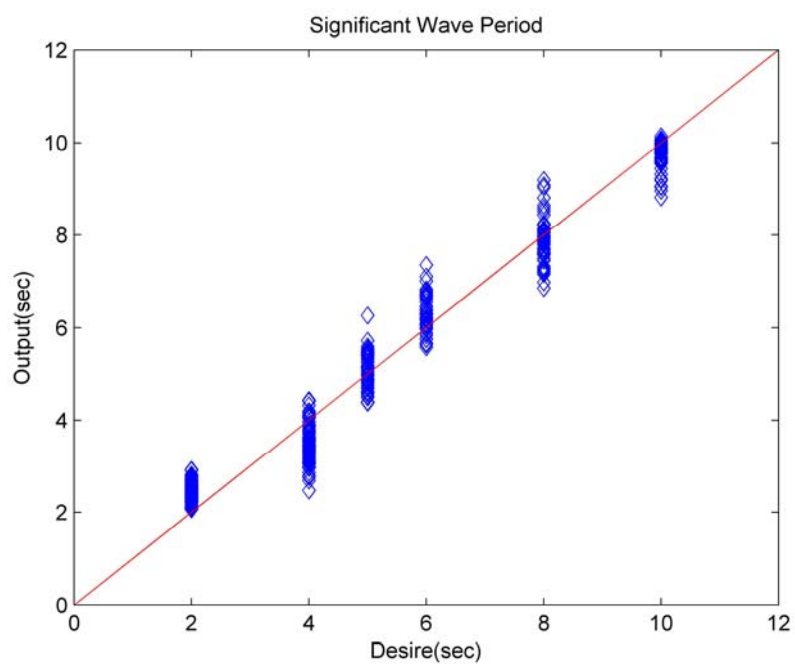


圖 3-5 示性週期反算結果之偏離分析

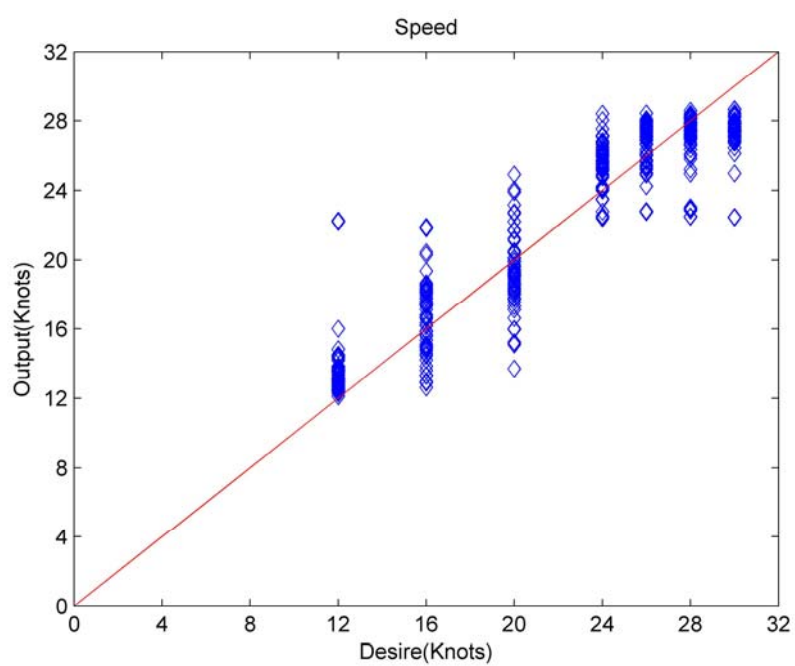


圖 3-6 船速反算結果之偏離分析

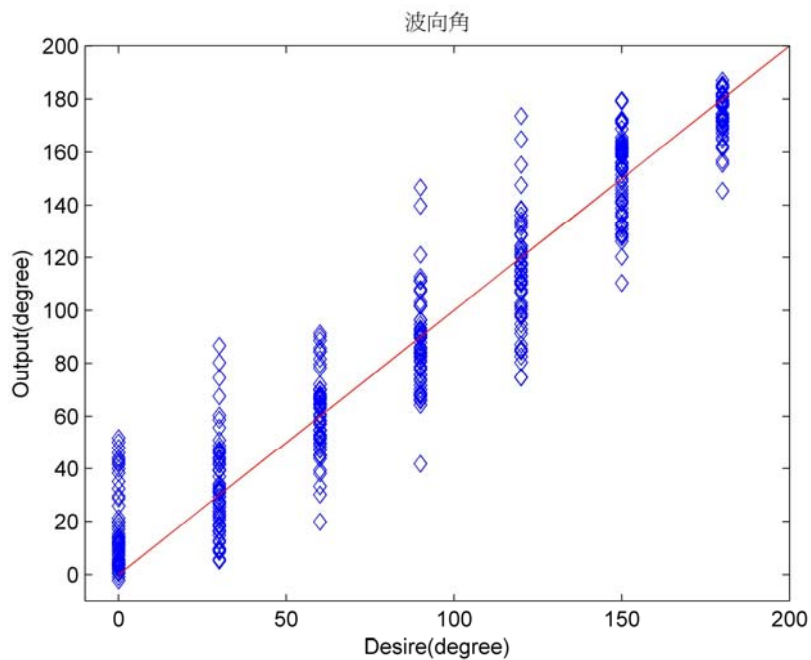


圖 3-7 波向角反算結果之偏離分析

由圖 3-4 至圖 3-7 所示反算結果之偏離分析可以發現此一類神經網路架構可大致掌握波浪特徵值之趨勢，合理反算出遭遇波浪的示性波高、示性週期、波向角以及船速等。故此一類神經網路架構應足以應用在後續的整合模擬上。

3.4 即時波浪場之推算模擬

本計畫為四年期計畫，而本年度為最後一期，故在此將過去之研究成果統整，並作完整的模擬以確定該系統可以實際應用。

3.4.1 模擬之設定

本研究先分別設定兩個時段的 50 艘船舶之位置、船速以及航向角，設定結果如圖 3-8(a)即圖 3-8(b)所示，圖形中箭頭之長度代表船速。

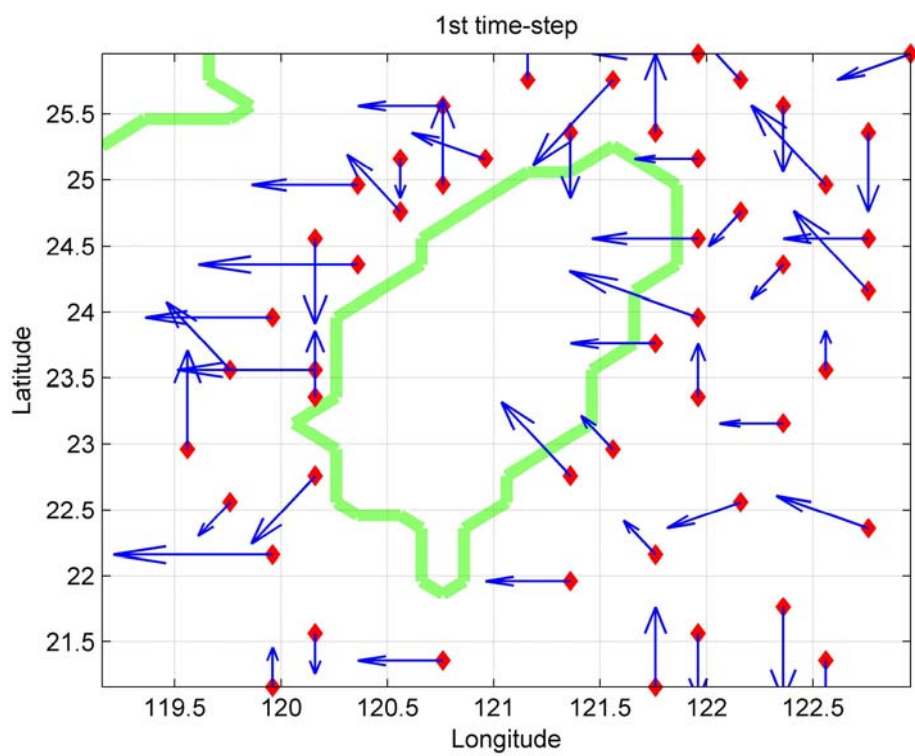


圖 3-8(a) 模擬設定例一

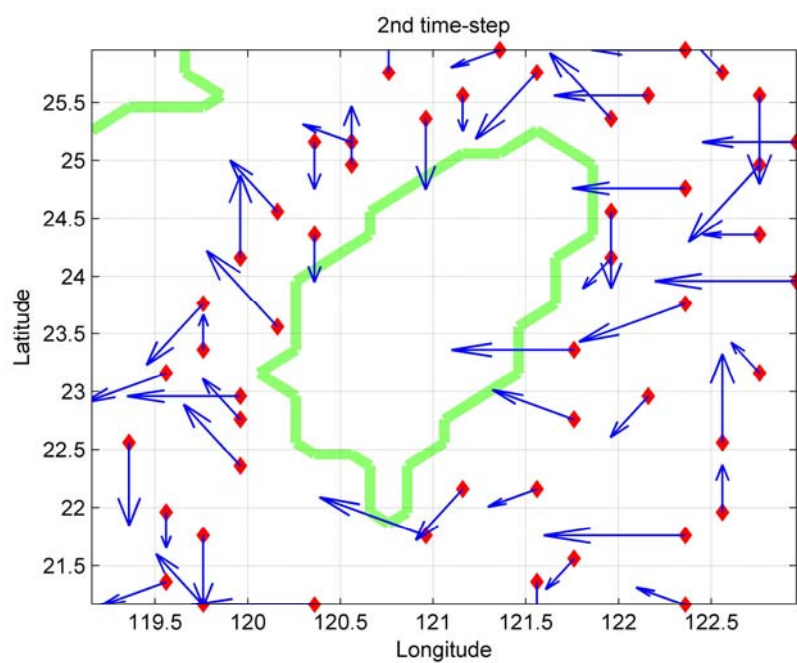


圖 3-8(b) 模擬設定例二

3.4.2 各時間位置之船體運動推算及波浪反算

在此階段使用 2007 年 3 月 3 日之 TaiCOMS 為例，並且利用該日之 12:00 AM.及 3:00 AM.作為模擬之兩個時段。執行程式後程式會依據前節設定之位置取得 TaiCOMS 資料庫中該時間位置上之示性波高、示性週期之資料，並且依據所設定之波向角開始模擬各船隻的運動狀態並分析之，進而得到起伏、縱搖及側移運動的 T_z 、 T_c 、 T_1 、 $H_{1/3}$ 、 $HA_{1/3}$ 、起伏 m_0 與側移 m_0 比值及縱搖 m_0 與側移 m_0 比值等合計 17 個運動反應值。之後便可再將此資料作為波浪反算類神經網路之輸入資料，用以反算出各船舶之遭遇波浪的示性波高、示性週期、波向角以及船速。

而第一個時段(2007/3/3 12:00 AM.)反算結果之偏離分析如圖 3-9(a)~圖 3-9(d)，而第二個時段(2007/3/3 3:00 AM.)之反算結果之偏離分析則如圖 3-10(a)~圖 3-10(d)所示。

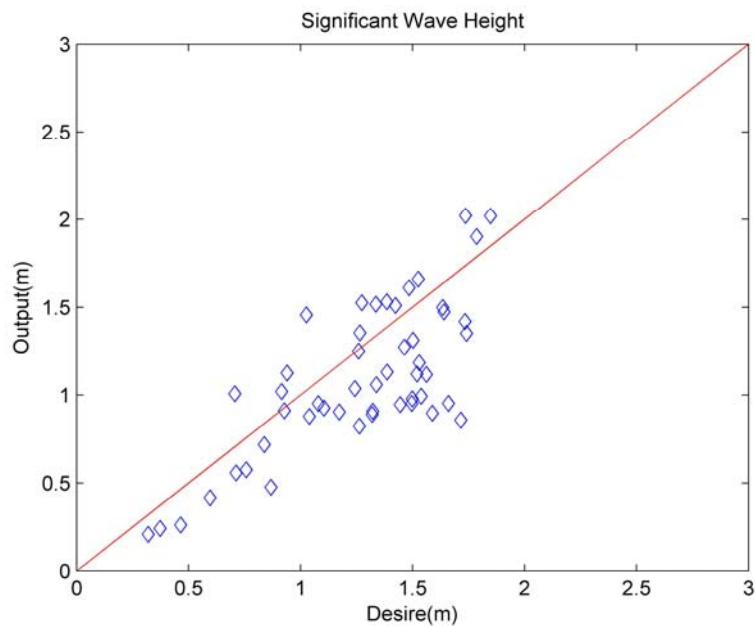


圖 3-9(a) 時段一之示性波高反算結果之偏離分析

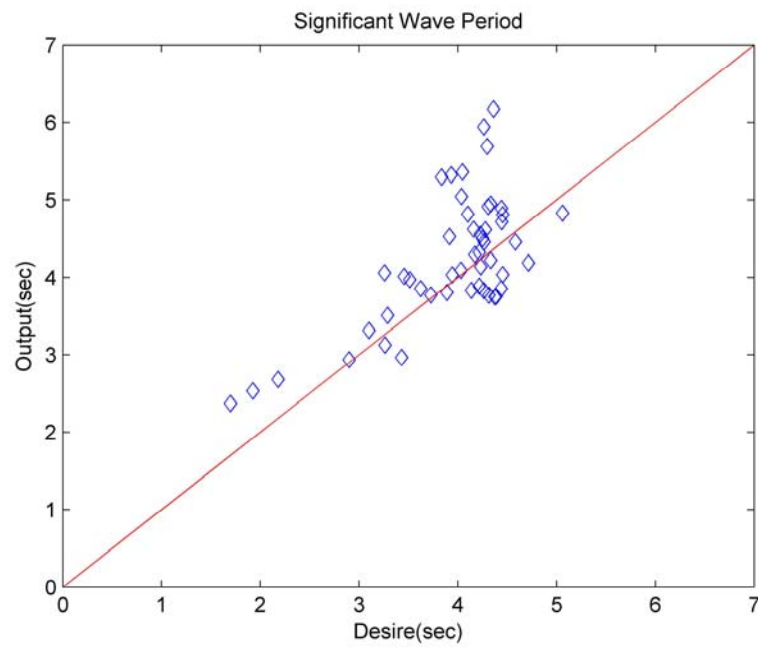


圖 3-9(b) 時段一之示性週期反算結果之偏離分析

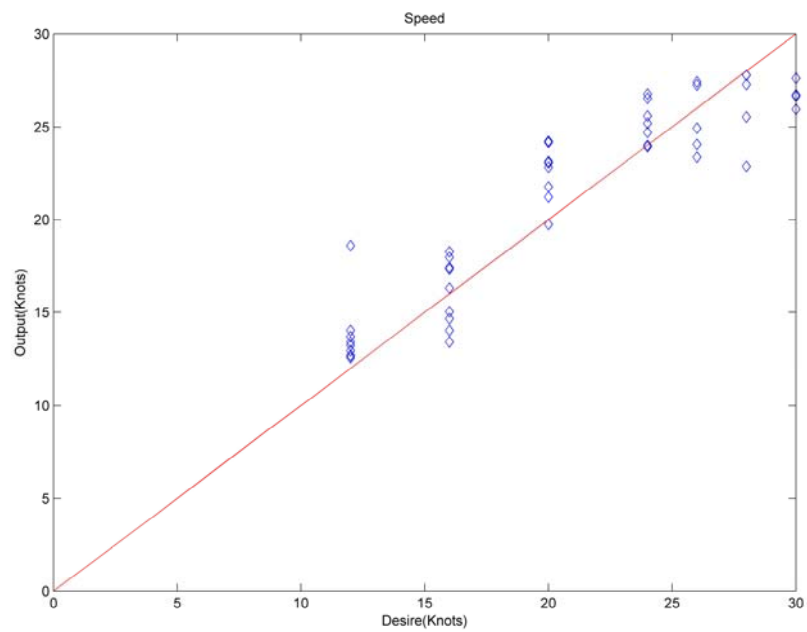


圖 3-9(c) 時段一之船速反算結果之偏離分析

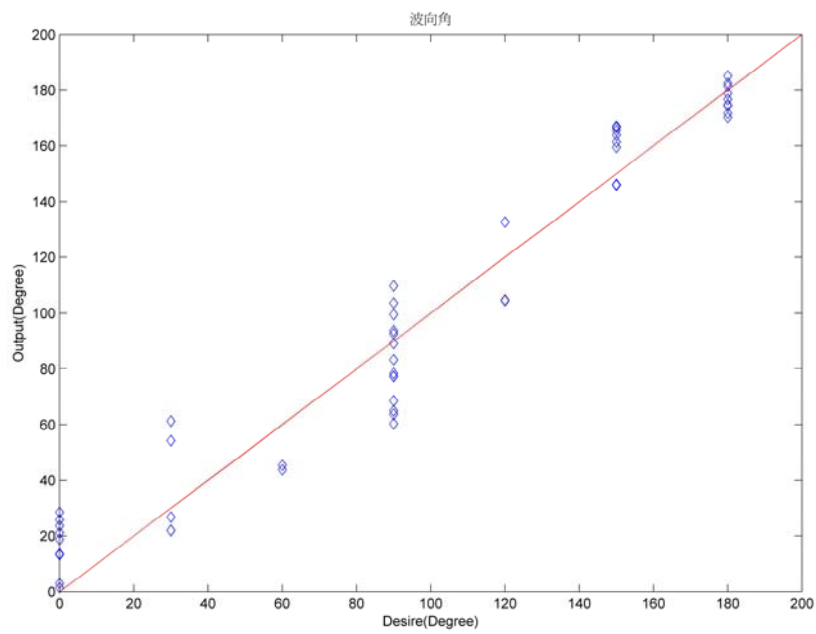


圖 3-9(d) 時段一之波向角反算結果之偏離分析

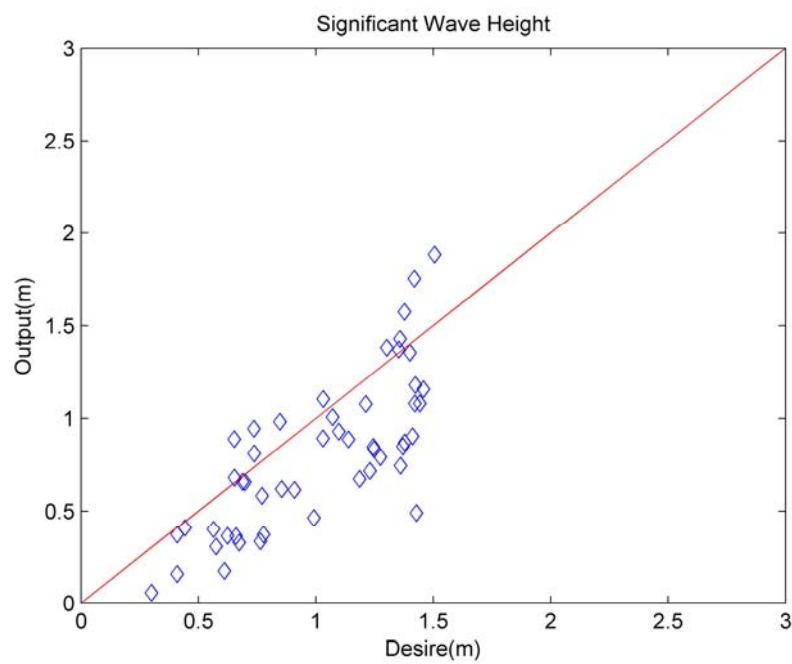


圖 3-10(a) 時段二之示性波高反算結果之偏離分析

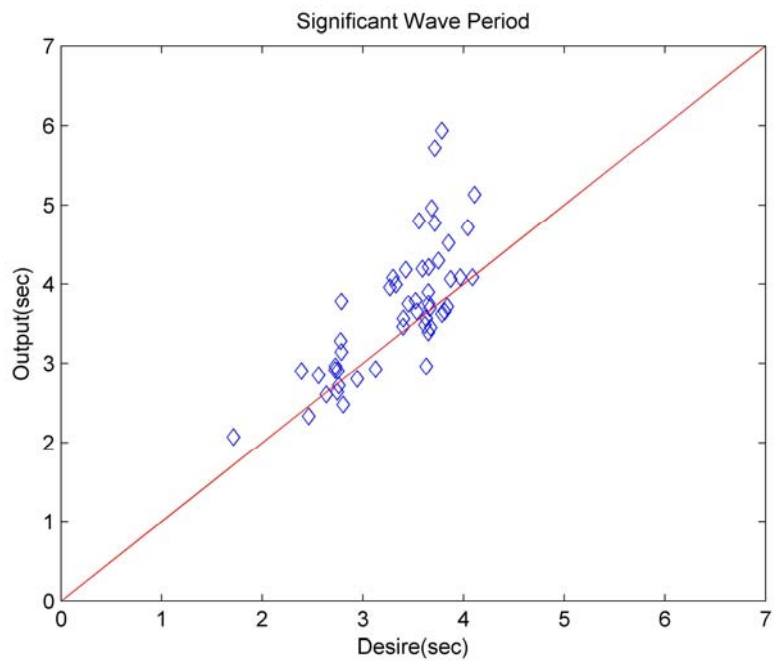


圖 3-10(b) 時段二之示性週期反算結果之偏離分析

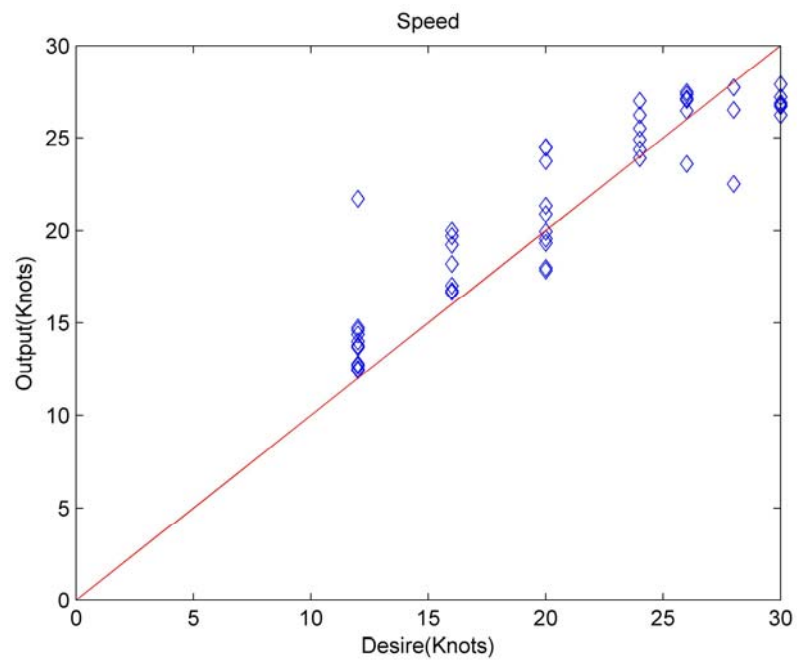


圖 3-10(c) 時段二之船速反算結果之偏離分析

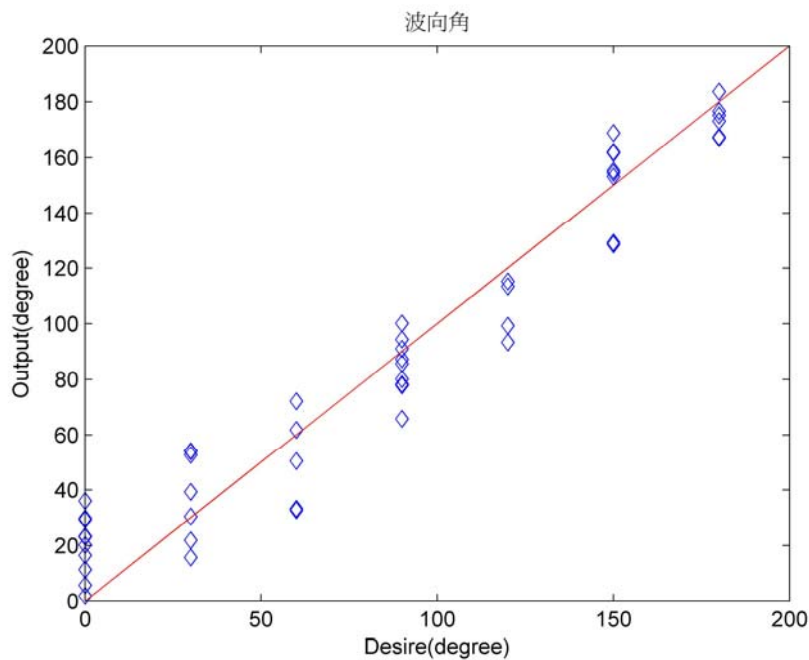


圖 3-10(d) 時段二之波向角反算結果之偏離分析

由圖 3-9(a)~圖 3-9(d)以及圖 3-10(a)~圖 3-10(d)所示反算結果之偏離分析，可以確認船舶遭遇的波浪特徵值可被訓練過的波浪反算類神經網路掌握，反算出合理的結果。

3.4.3 利用類神經網路重建波浪之空間分佈

在得到上節所述之結果後，即可將反算出的兩個時段各 50 點之波浪資料放入重建波浪空間分佈之類神經網路中。該類神經網路架構如第三期報告所述，共具四層，一層輸入層共 150 nodes(50 點之 x,y 座標資料及各位置之波浪資料)，兩層隱藏層各 412 nodes，輸出層為 412 nodes(20×25 面扣除臺灣陸地無波浪資料之點後共 412 點)。而訓練方式經前期計畫確認資料密度效應之驗證後，只取該月中相隔 12 小時之資料作為訓練樣本(每天 12:00 AM.即 12:00 PM.的資料)。三月共 31 天，每天兩筆資料，又每筆資料會隨機產生 100 筆訓練樣本，意即總共 6200 筆訓練樣本以完成類神經網路之訓練。

接下來將經由運動模擬、統計分析及波浪反算出之兩個時段各 50 點之波浪資料放入重建波浪空間分佈之類神經網路中，即可以得到該時段屬面的波浪分佈情況。第一個時段 2007/3/3 12:00 AM.之原始波高分佈如圖 3-11(a)所示，而經類神經網路重建之波高分佈如圖 3-11(b)所示，此外原始資料與類神經網路重建結果比較之偏離分析則如圖 3-11(c)所示。而第二個時段 2007/3/3 3:00 AM.之結果則示於圖 3-12(a)~圖 3-12(c)。

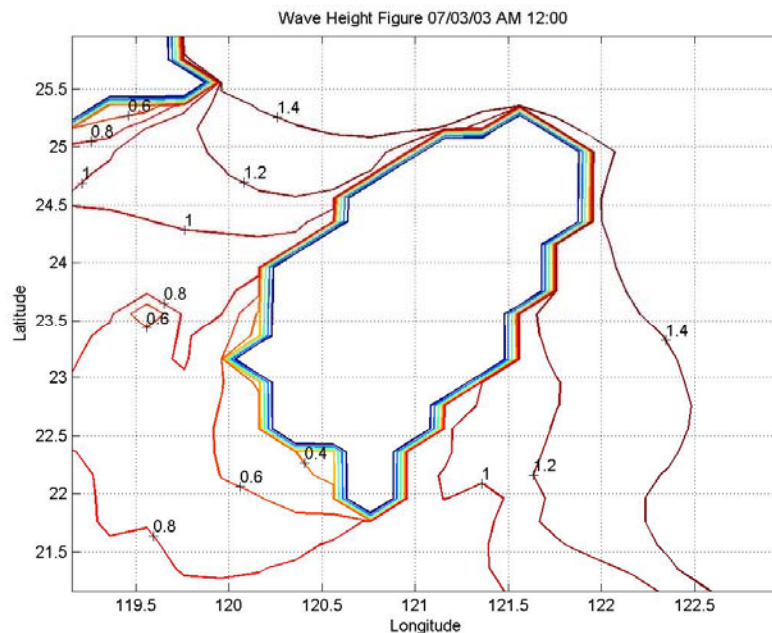


圖 3-11(a) 第一個時段 2007/3/3 12:00 AM.原始資料之波高分佈

(單位:m)

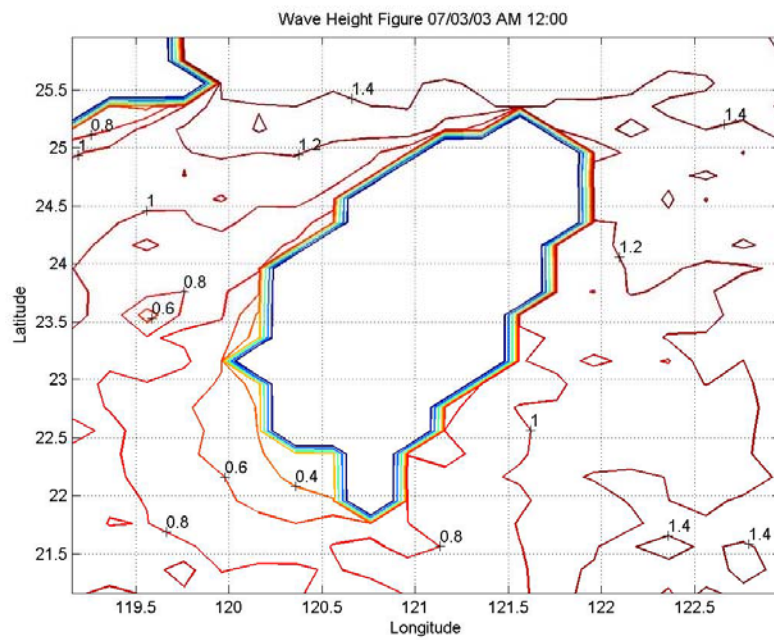


圖 3-11(b) 第一個時段 2007/3/3 12:00 AM.類神經網路重建結果
(單位:m)

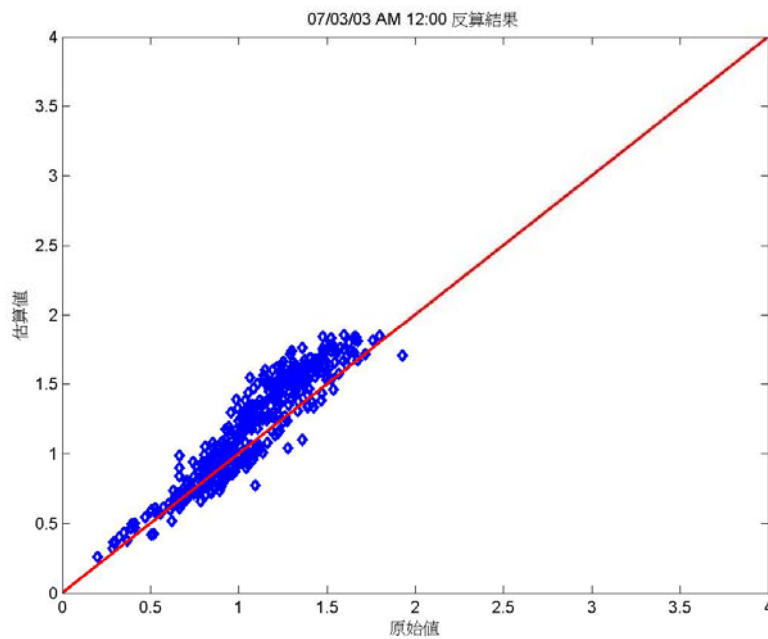


圖 3-11(c) 第一個時段 2007/3/3 12:00 AM.偏離分析(單位:m)

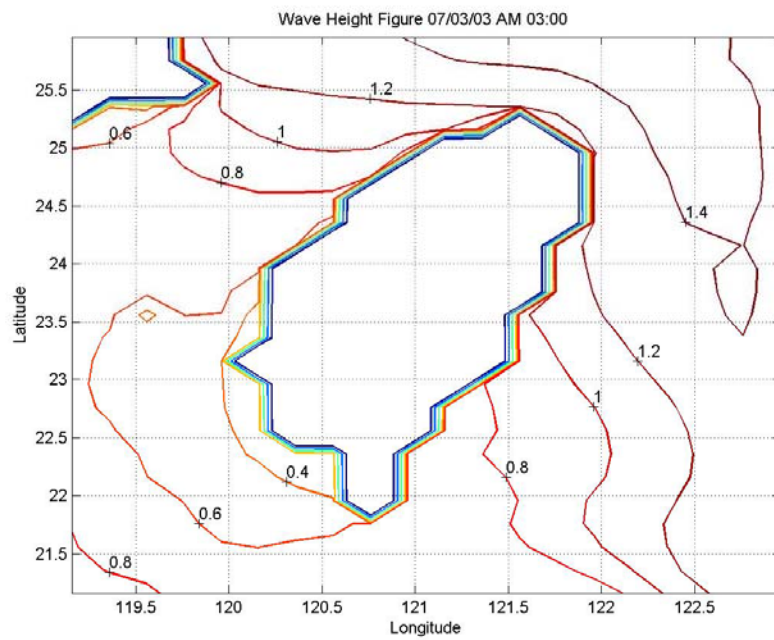


圖 3-12(a) 第二個時段 2007/3/3 3:00 AM.原始資料之波高分佈
(單位:m)

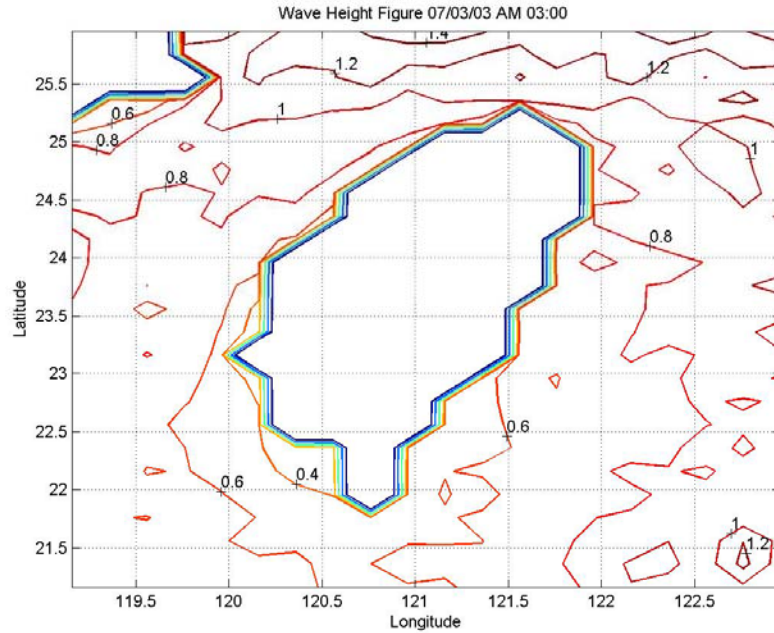


圖 3-12(b) 第二個時段 2007/3/3 3:00 AM.類神經網路重建結果
(單位:m)

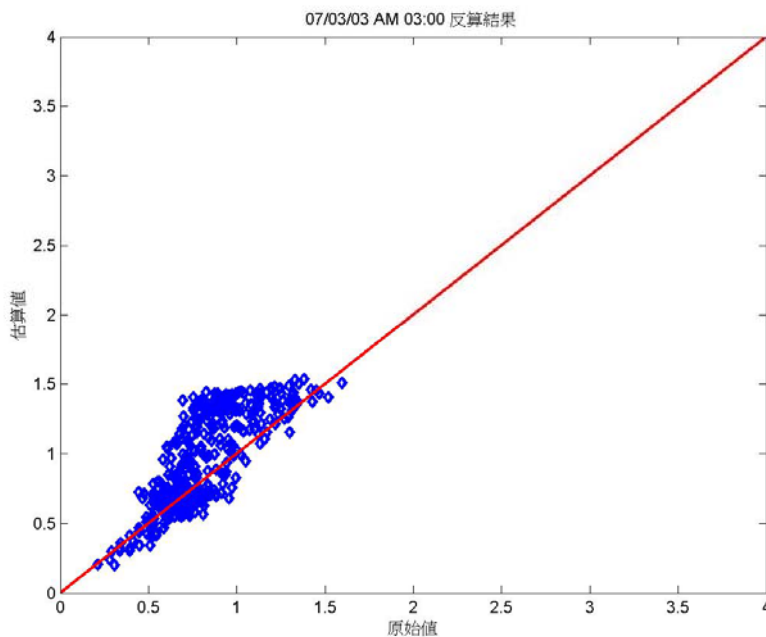


圖 3-12(c) 第二個時段 2007/3/3 3:00 AM.偏離分析(單位:m)

由以上各圖可知類神經網路重建波浪空間分佈之結果大致良好，而經過量化分析後，第一時段 2007/3/3 12:00 AM.之重建結果與原始資料之相關係數達 93.34%，平均波高誤差為 9.78% 而標準偏差(%平均誤差)則為 15.26%。此外第二時段 2007/3/3 3:00 AM.之重建結果與原始資料之相關係數雖稍低，亦達 78.42%，平均波高誤差則為 15.99% 而標準偏差(%平均誤差)則為 27.05%。

據此結果應可說類神經網路模式已大致掌握了波浪的空間分布特性。

第四章 無線傳輸模組精進

4.1 系統硬體

為了改進運動量測資料無線傳輸速度達 100Hz，本研究引用臺灣大學吳文中教授的光機電實驗室所開發的傳輸模組硬體，自行發展控制軟體。圖 4-1 所示為該模組”Super Node”之外觀圖。

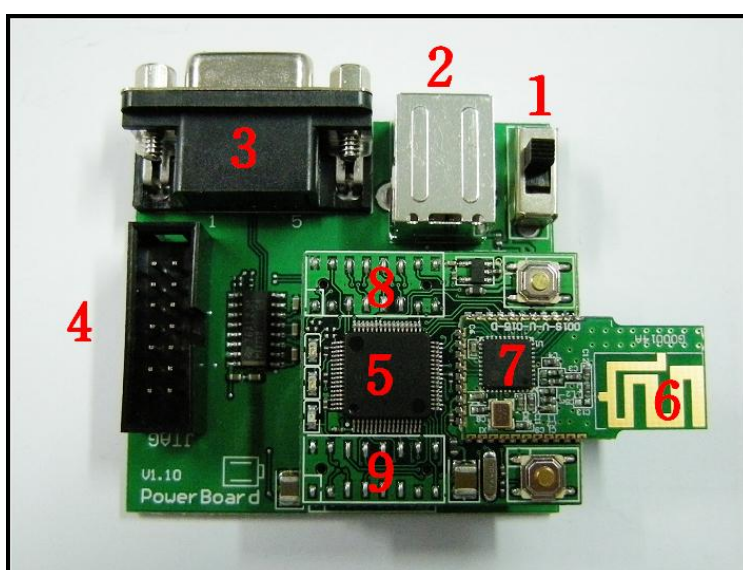


圖 4-1 無線傳輸模組”Super Node”之外觀圖

圖中各部分說明如下：

1. 外接電源開關
2. 外接電腦 USB 插座提供 5 伏電源同時可以傳輸資料
3. 外接 RS232 插座提供資料傳輸(未使用)
4. JTAG 外接燒入器插座提供控制程式燒入
5. 單晶片控制器 MSP430F1611
6. 無線電天線

7. 單晶片控制器 UZ2400(負責控制無線電收發功能，控制程式固定無法更改)
8. 外接感測器訊號
9. 外接感測器訊號

圖 4-2 所示為其中的單晶片控制器 MSP430F1611 外觀圖。

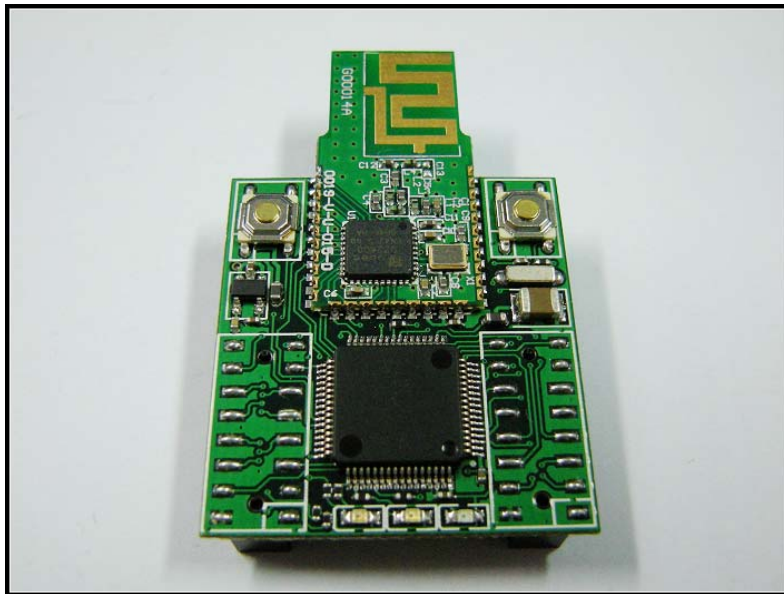


圖 4-2 單晶片控制器 MSP430F1611

其主要規格如下所示：

Frequency: 8 MHz (Max)

Flash: 48 KB

RAM: 10 KB

Peripherals:

48 pins GPIO

2 16-Bit Timers

8 channel 12-bit ADC

2 channel 12-bit DAC

Analog Comparators

Supply Voltage Supervisor

1 USART (SPI or UART)

0.1uA power down

0.8uA standby mode

<1us clock start-up

Programming Language: C/C++

Tools: IAR Embedded Workbench

全模組包含在可攜式電腦端使用的 Super Node 如圖 4-3(a)(同圖 4-1)所示，以及在感測器端使用的 Super Node 如圖 4-3(b)所示。

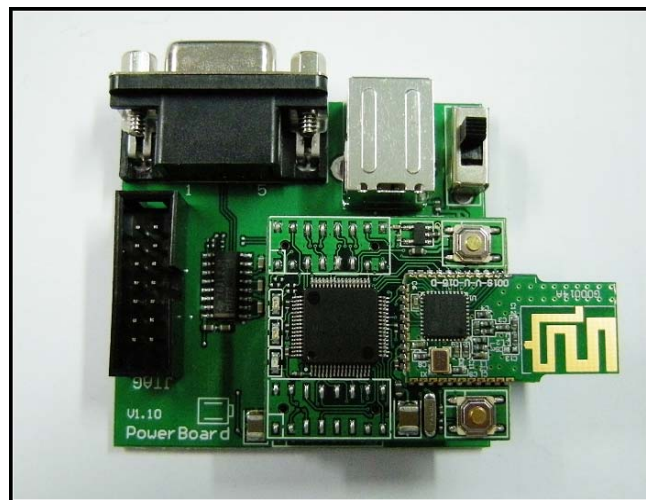


圖 4-3(a) 可攜式電腦端使用的”Super Node”之外觀圖

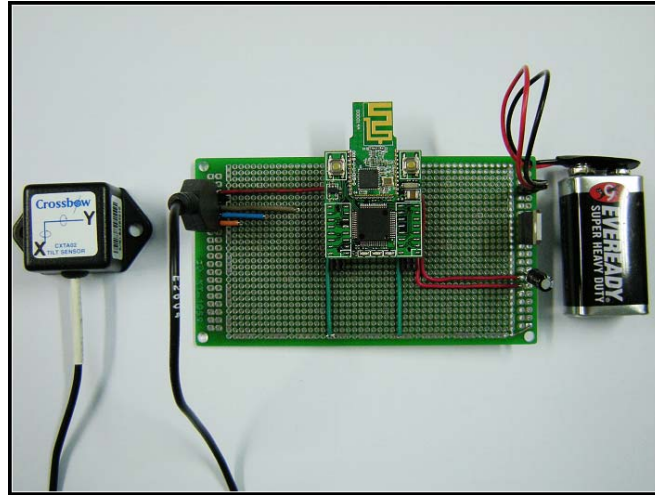


圖 4-3(b) 在感測器端使用的”Super Node” 之外觀圖

感測器佈置在船體的示意圖如圖 4-4 所示，

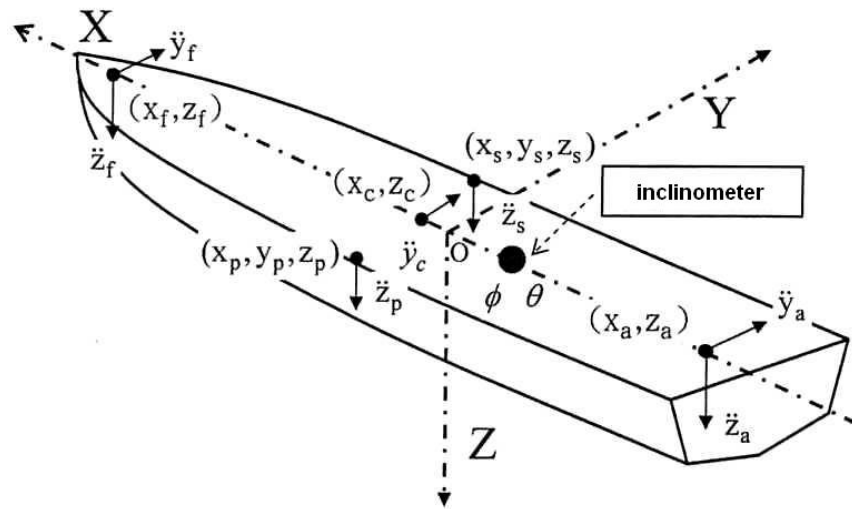


圖 4-4 感測器佈置

本研究使用 Crossbow 公司所製造的五個加速度感測器(2 個雙軸加速度感測器及 3 個單軸加速度感測器)及一個雙軸傾角感測器，預計如圖 4-4 所示，在船體四周佈置此六個感測器及訊號發射端，合計量測 9 組訊號，以及一個可攜式電腦訊號接收端，共計需使用七個 Super Node。

4.2 運動量測資料傳輸

圖 4-5 為感測器佈置在船體的示意圖，以星狀網路的無線傳輸方式作為本研究資料傳輸的架構如圖 4-6 所示，A~F 為發射端，G 為接收端。

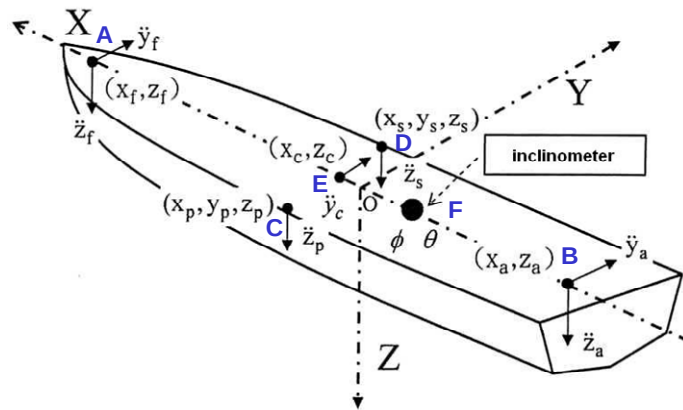


圖 4-5 感測器佈置在船體的示意圖

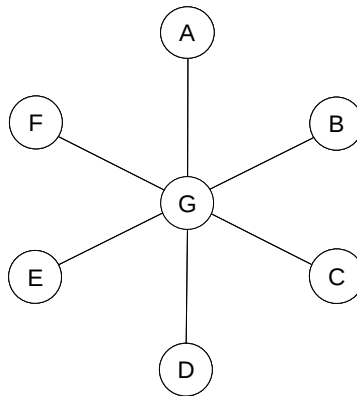


圖 4-6 感測器星狀分佈圖

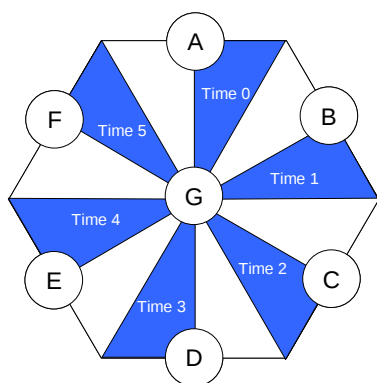


圖 4-7(a) 分時傳輸示意圖

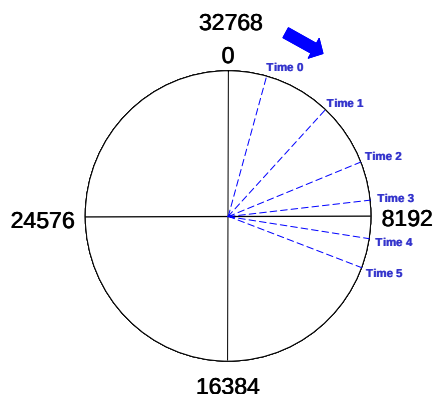


圖 4-7(b) 分時區段

運用分割時間傳送資料的方法，將各個發射端依照時間先後排列順序，自發性的傳送資料回接收端，圖 4-7(a)為分時傳輸的示意圖。由於發射端計時器所選擇的時脈來源為 32768Hz 振盪器，就是一秒鐘振盪 32768 次，所以時間控制方面，是以振盪的次數來規劃傳送的時間，分別規劃 Time0、Time1、Time2、Time3、Time4、Time5 等六個區段，如圖 4-7(b)所示。因為在發射端 A、B、F 必須傳輸兩組資料源，所以在 Time0、Time1、Time5 的間隔上會設計比其他間隔多一倍的次數時間，各點經過累加相同次數後，各間隔平移至下段時間進行順序傳送資料，估計一秒鐘內各點可以完成傳送 2 至 3 次資料量回接收端。

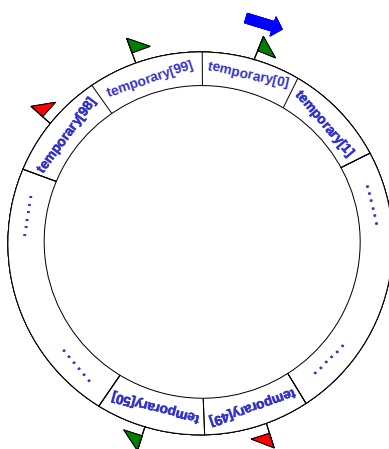


圖 4-8 矩陣變數位置

關於取樣頻率，透過計時器控制，每 0.01 秒作一次取樣，總計一秒鐘內完成取樣 100 個點，取樣率為 100Hz，每次取樣的數值會依序暫存在矩陣變數 temporary[0~99]的位置裡，如圖 4-8 所示。開始暫存位置為插有綠旗的 temporary[0]，經過計時器計時啟動傳送資料同時，程式會在當時完成暫存取樣值位置 temporary[49]插上紅旗，並傳送綠、紅旗之間的資料量。在完成傳送資料後，temporary[50]插上綠旗作為下次處理的開始，不斷重複上述動作，完成傳送資料量回接收端。運用分時傳輸的觀念和取樣的方法，可以順利取得各點即時的資料。資料傳送格式如圖 4-9 所示。

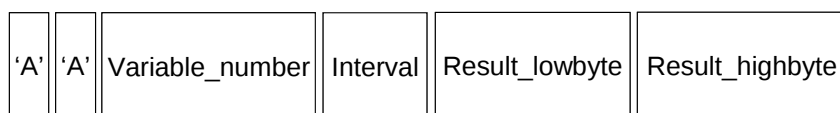


圖 4-9 傳送資料格式

圖 4-9 中各段文字代表的意義如下：

‘A’ ‘A’：代表資料來源處

Variable_number：0~255 的數字，作為檢查資料是否重複接收。

Interval：0~100 的數字，代表傳送資料個數。

Result_lowbyte：量測資料的低位元。

Result_highbyte：量測資料的高位元。

4.3 程式流程

資料傳輸端、接收端及電腦端之程式流程分別敘述如下：

MSP430 發射端流程如圖 4-10 所示，

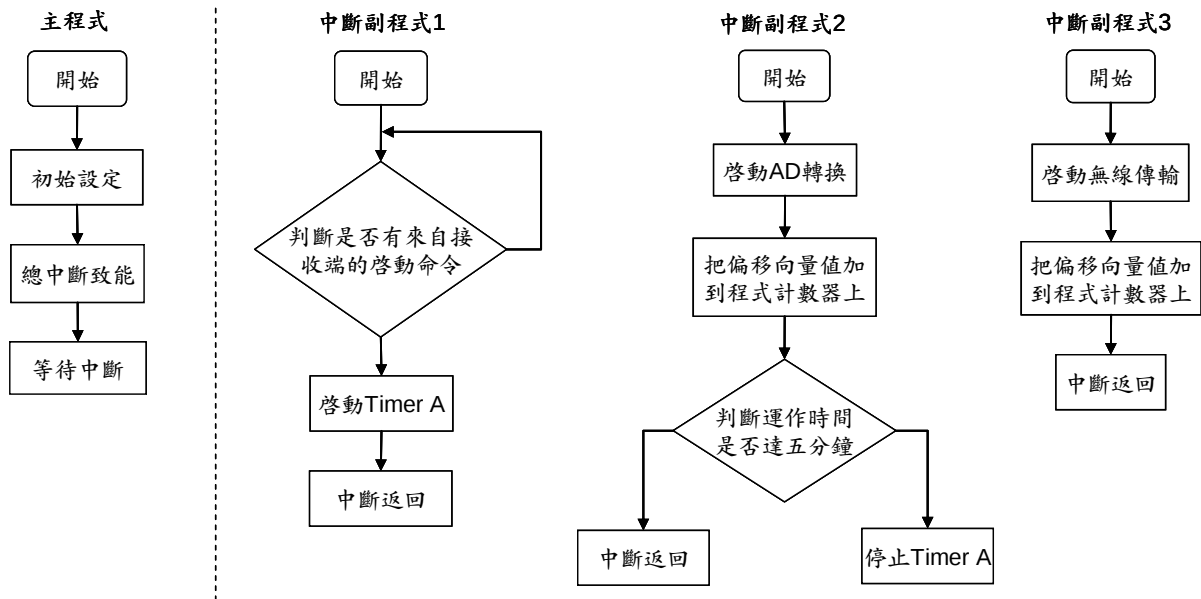


圖 4-10 MSP430 發射端流程

發射端 A~F 開啟電源，完成初始設定，等待來自接收端 G 啟動計時器的命令。計時器程式裡有兩個設定值，分別是定時取樣作類比數位轉換的時間，另一個是定時啟動無線傳輸功能的時間。總中斷致能是接受所有中斷請求。

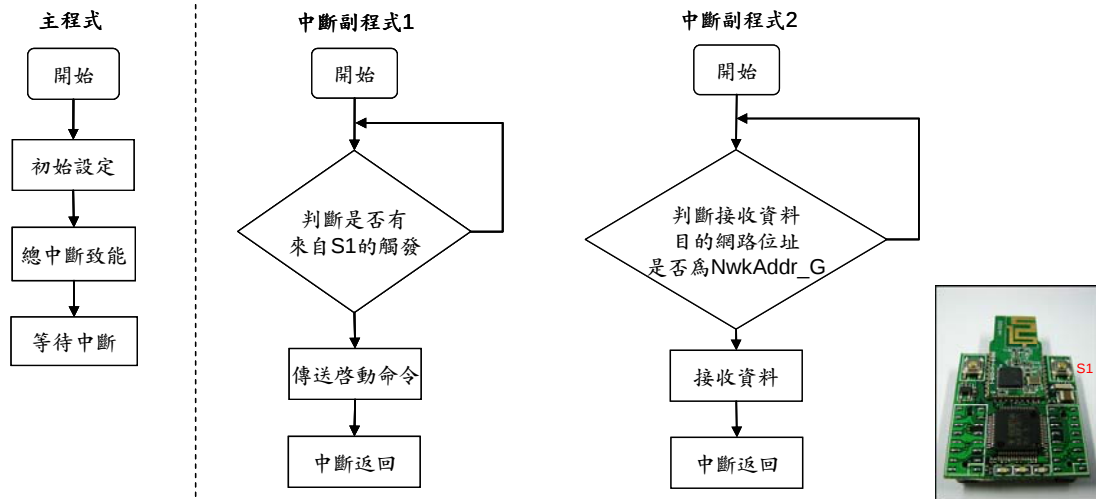


圖 4-11 MSP430 接收端流程

接收端 G 開啟電源，完成初始設定，透過觸發 S1 按鈕傳送啟動計時器的命令，之後不斷接收資料判別是否為各發射端傳回的資料，將有效資料分類回傳電腦端。

電腦端流程如圖 4-12 所示，

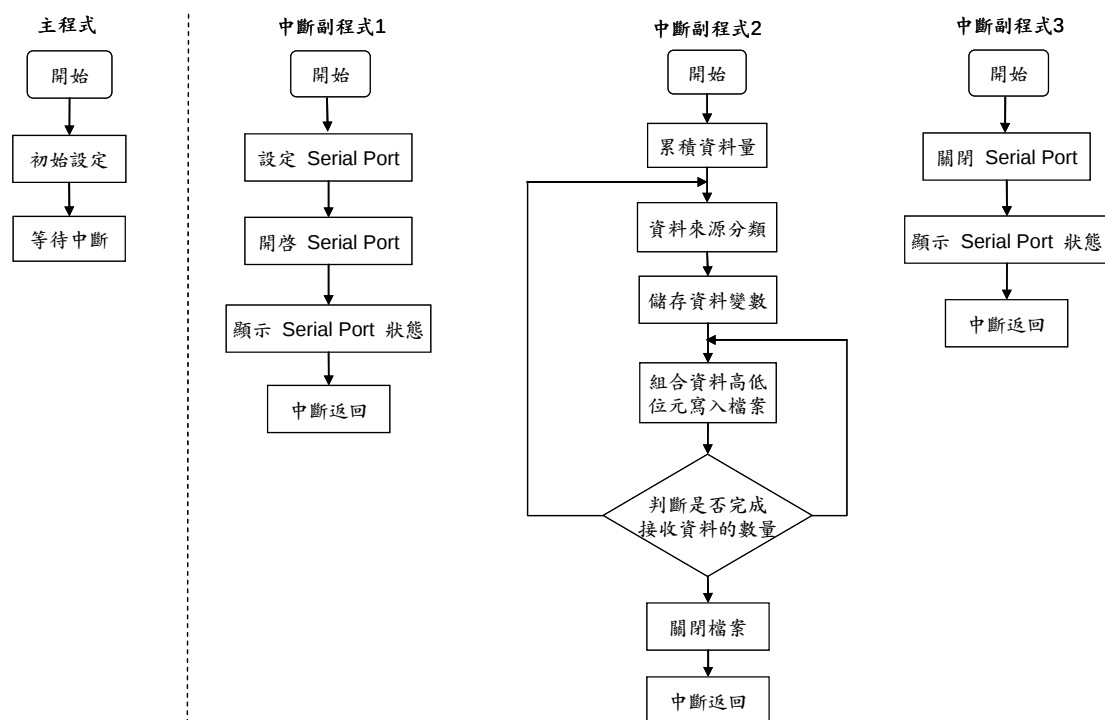


圖 4-12 電腦端流程

電腦端的接收程式是以 C# 程式撰寫，程式執行首先設定通訊埠的參數，開啟通訊埠接收回傳資料，累積一定資料量後，開始作資料來源的分類，儲存各項變數作為資料的檢查項，組合資料的高低位元寫入文字檔案，等待完成所有傳送後，關閉通訊埠，結束程式執行。

4.4 實驗測試樣本

為了確認本系統可達成取樣頻率 100Hz 的精進目標，首先針對單一加速度計作測試，以規則方式重複反轉測試加速度計取樣及傳輸，得以下圖形，顯示感測及傳輸可正常取得 $\pm 1G$ 的數據。

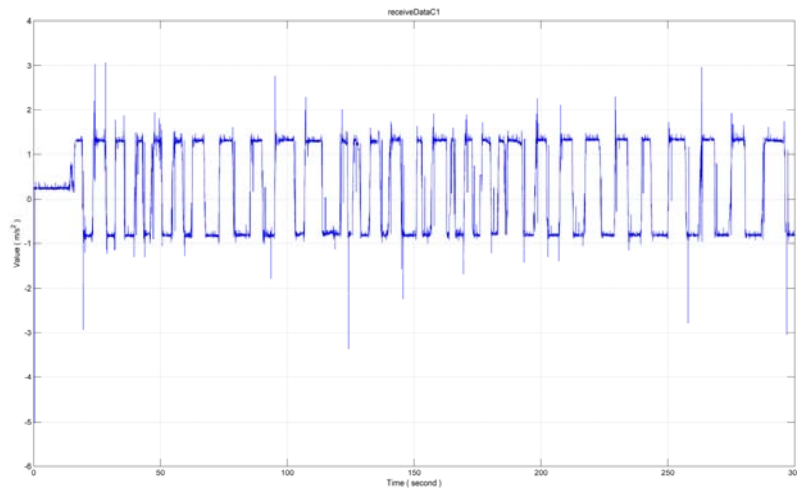


圖 4-13 單一加速度計測試樣本

接著開啟全系統，依序以手動方式反轉、搖擺 6 個感測器，得到 9 個運動量測頻道的取樣及傳輸結果如圖 4-14~圖 4-22 所示。

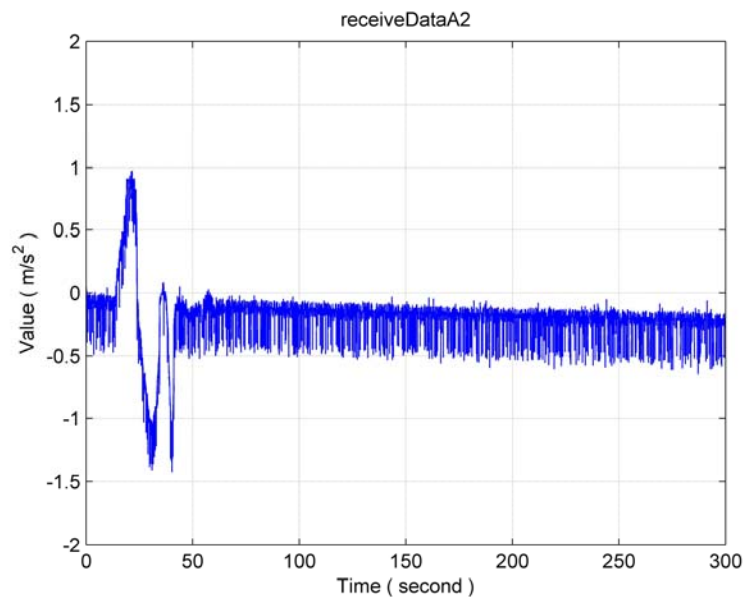


圖 4-14 A 端 Y 軸的加速度計測試樣本

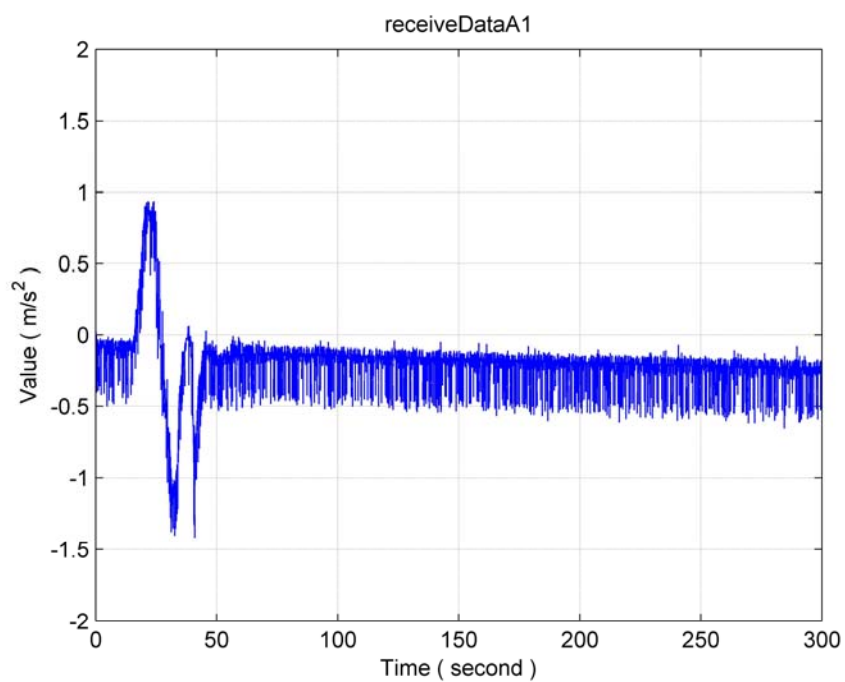


圖 4-15 A 端 Z 軸的加速度計測試樣本

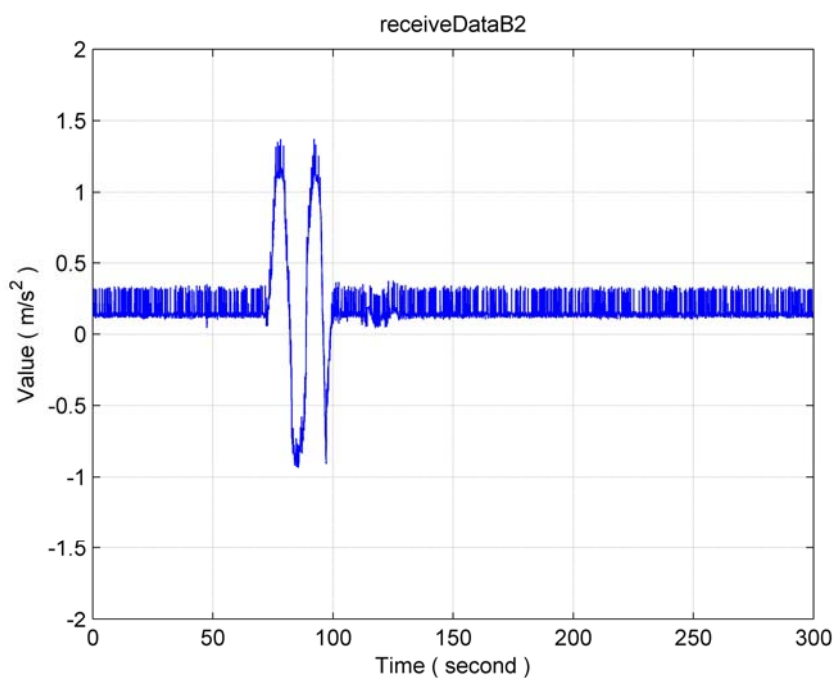


圖 4-16 B 端 Y 軸的加速度計測試樣本

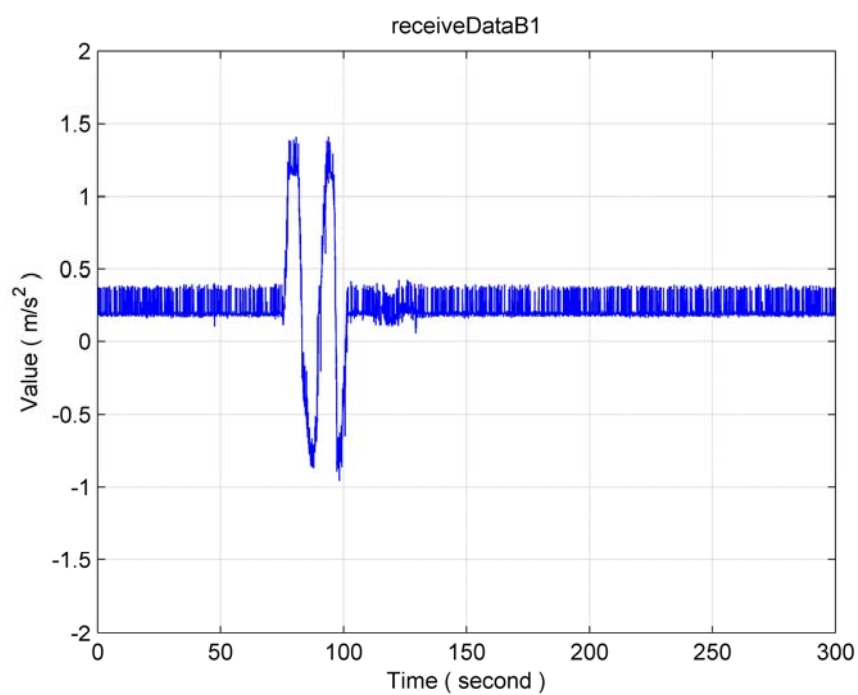


圖 4-17 B 端 Z 軸的加速度計測試樣本

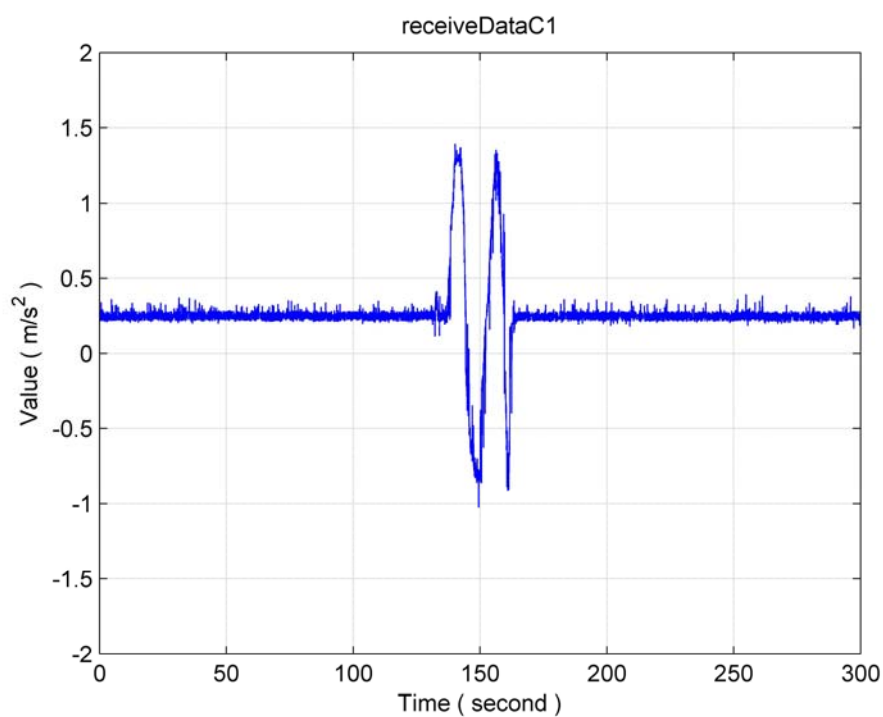


圖 4-18 C 端 Z 軸的加速度計測試樣本

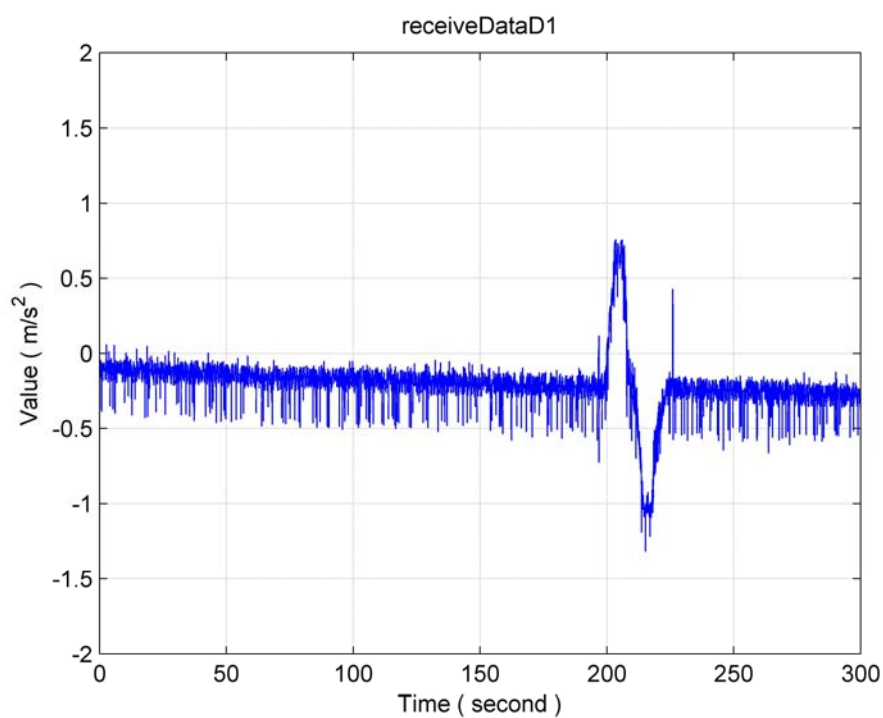


圖 4-19 D 端 Z 軸的加速度計測試樣本

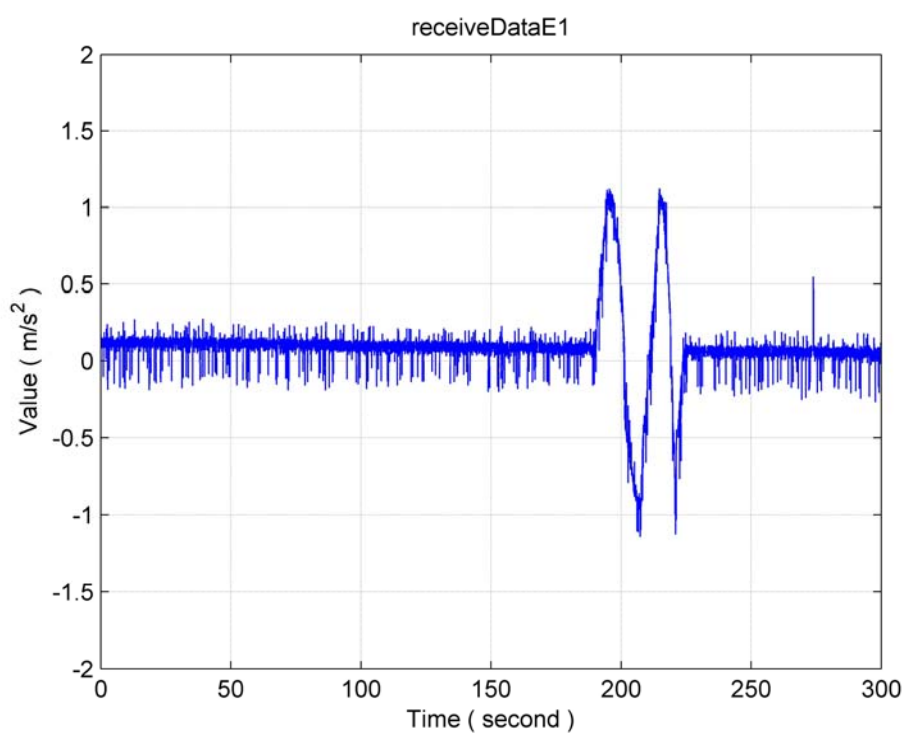


圖 4-20 E 端 Y 軸的加速度計測試樣本

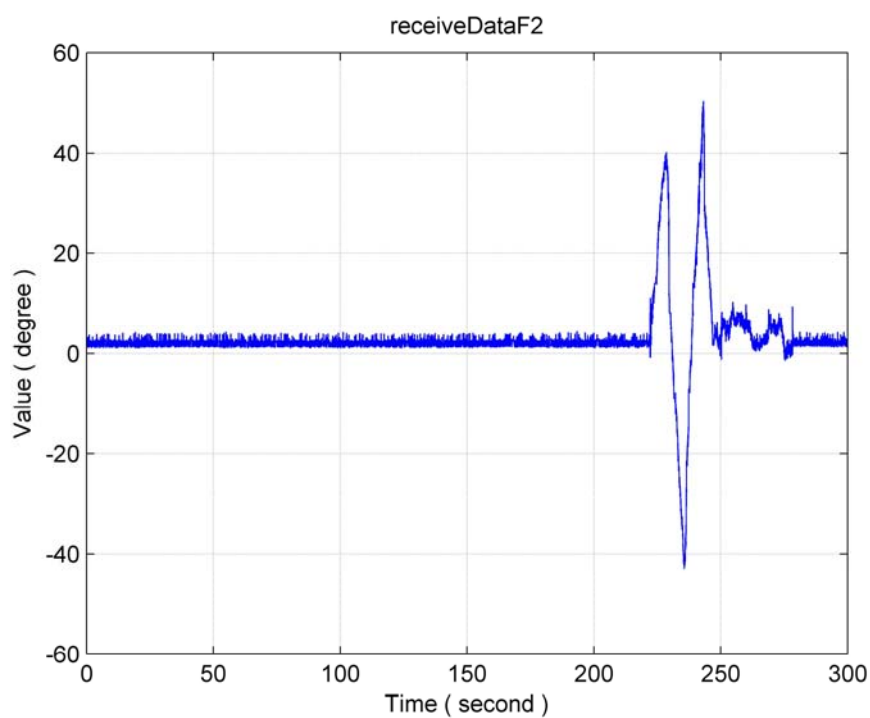


圖 4-21 F 端 X 軸的傾角計測試樣本

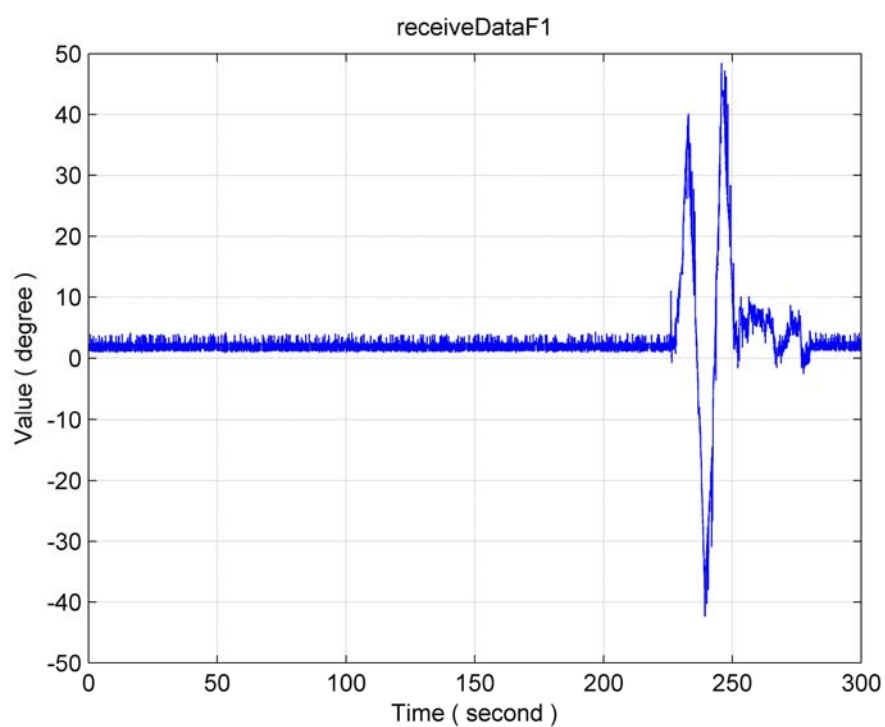


圖 4-22 F 端 Y 軸的傾角計測試樣本

從圖 4-14~圖 4-22 所顯示的七個頻道加速度及二個頻道傾角的時間歷程可確認本研究所建構的運動量測及無線傳輸模組已可達成 100Hz 的傳輸速率，將可充分掌握船體運動之動態。

第五章 海巡船舶運動推算臺灣海域即時波浪場之系統 雛形規劃

本研究為建構應用海巡船隊掌握臺灣海域波浪場之行動感測網路系統(mobile sensor networks system)所提出之系統雛形之概要可描述如下：系統將包含一個安裝在船上應用 Zigbee 無線傳輸的運動感測網路(On-board Zigbee wireless sensor network)模組，可用 100Hz 取樣頻率量測及傳輸包含 7 個頻道的加速度和縱搖及橫搖 2 個頻道的傾角。船上電腦及接收端將安裝有船體運動分析程式及應用類神經網路模式建構的波浪反算程式，船體運動分析程式將分析出起伏、縱搖及側移運動的 T_z 、 T_c 、 T_1 、 $H_{1/3}$ 、 $HA_{1/3}$ 、起伏 m_0 與側移 m_0 比值及縱搖 m_0 與側移 m_0 比值等合計 17 個運動反應狀態量作為類神經網路波浪反算程式的輸入層，而該反算程式需先應用可信賴的船體運動理論計算程式的系列計算結果作為類神經網路訓練的樣本。波浪反算程式的輸出層包含示性波高、示性週期、波向角及船速。波浪資料及由船上 GPS 所得之船位將一併經由長距離無線傳輸網路，譬如 WiMax 傳輸到陸上接收站，再經由網際網路 Internet 傳送至集中的管制站電腦，該電腦將安裝有應用類神經網路模式建構的即時波浪場推算程式，而該推算程式需先應用可信賴的臺灣海域波浪模擬預報程式譬如 TaiCOMS 的系列計算結果作為類神經網路訓練的樣本。在譬如每間隔二個小時的同一個時間裡接收到勤務中多艘(譬如 50 艘)海巡船舶傳來的波浪資料及船位之後，即時波浪場推算程式即能算得波浪場，包含波高、週期與波向之空間分布。

第六章 結論與建議

因應海洋資源開發之需求，強化海象觀測設施與技術，提升海象測報能力，是政策重點之一，目前利用少數的近岸浮標(buoy)方式的波浪測報，不足以涵蓋整體臺灣海域，一般波浪預報的精度亦仍有大幅提昇的空間。另一方面，船舶受波浪作用而運動，所以船舶本身就是一個良好的波浪感測器，而隨著船舶運動理論的發展，藉由理論計算已能相當準確掌握船舶運動反應特性，因此藉由船舶運動量測分析，從而反算出船舶所在位置波浪的波高、週期與波向應是可行的波浪量測方法。因此，配合遍佈臺灣海域巡航的海巡署所屬船舶運動測量、波浪反算與回報，以及資料過濾與分析即能構成一個屬『面』的臺灣海域測報系統。

6.1 結論

1. 本研究建立了利用短峰不規則波中船體起伏、縱搖及側移運動統計分析結果反算波浪示性波高、週期、波向之類神經網路模式架構。
2. 本研究完成利用 Zigbee 無線傳輸方式，以六個感測器九個量測頻道依 100Hz 取樣頻率所建構的船體運動量測無線傳輸模組的系統驗證，確認此系統可充分掌握船體運動之動態反應。
3. 本研究建立了可用任意散布的有限數量波浪資料重建台灣周圍海域波浪整體空間分佈全貌的多層類神經網路模式架構，並引用 TaiCOMS 之中尺度台灣近海波浪模擬資料予以驗證。
4. 本研究依據台灣海域即時波浪場推估模擬之流程規劃完成系統模擬與確認，並提出了應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，以作為未來實現開發與建置該系統的參考。

6.2 建議

1. 後續可進一步推動產學合作，藉由業界的參與以加速原型系統的開發與實現。
2. 與海巡署洽商原型系統的測試與後續應用推廣的合作方式。

參考文獻

- [1] 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
- [2] 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
- [3] 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
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 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
- [7] 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
- [8] 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
- [9] 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
- [10] 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

- [11]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
- [12]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
- [13]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
- [14]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
- [15]邱逢琛、周詠翔、邱永芳、蔡金吉”從船體運動反算遭遇波浪之類神經網路模式”，第 28 屆海洋工程研討會論文集，高雄，2006/11
- [16]F.C. Chiu, S.W. Liu, W.C. Tiao, J. Guo “Development of a Simple System to Measure 5 DOF Ship Motions in a Seaway,” The Eighth International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2005), Saint-Petersburg , Russia, 2005/6
- [17]邱永芳等“臺灣近岸海象預報模式系統(TaiCOMS)技術報告”，第 28 屆海洋工程研討會專題論文集，高雄，2006/11
- [18]林炤圭等“臺灣近岸海象預報模式系統(TaiCOMS)—風浪模式之建立與應用”，TaiCOMS 技術報告，第 28 屆海洋工程研討會專題論文集，高雄，2006/11
- [19]M. Tsujimoto, S. Ishida ”Statistical Characteristics of Winds and Waves around Japan”，日本船舶海洋工學會論文集第 2 號，pp.19-27, 2005/12
- [20]邱逢琛、蔡承翰、邱永芳、蔡金吉”應用類神經網路重建波浪場之空間分布”，第 20 屆造船暨輪機工程研討會論文集，臺北，2008/3

附錄一 期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

期中報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-97-H2DB007

計畫名稱：船舶運動推算臺灣海域即時波浪場模式建立之研究(4/4)

執行單位：國立臺灣大學 工程科學及海洋工程學系

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
樹人醫專 涂盛文 教授： 一、本年度(97 年)之計畫目標在規畫以多艘海巡船舶任意分佈於臺灣海域，經由運動量測及波浪反算提供波浪資料，並進行臺灣海域波浪全貌分析之系統具有研究與實用價值。 二、本計畫藉由類神經網路模式訓練與重建，比較經由原始資料所量出之波高等高線圖與經由類神經網路計算出來之波高等高線圖，吻合性良好。 三、經比較使用12小時間隔之類神經網路模式與使用3小時間隔之類神經網路模式，總結使用12小時間隔之類神經網路模式已足夠，分析正確合理。 四、期中報告符合進度。 五、部分之圖說須補強。	一、感謝評論。 二、感謝評論。 三、感謝評論。 四、感謝評論。 五、會依照審查意見補強圖說說明。	一、符合。 二、符合。 三、符合。 四、符合。 五、依處理情形辦理。
國立成功大學 黃明志教授： 一、圖2-2(a)~圖2-2(d)之說明完全一樣是否加註第一組、第二組、第三組、第四組	一、後續會依此意見加註。	一、依處理情形辦理。

等區隔，圖2-2(e)也應加註第一組，其他圖2-4(a)~圖2-4(e)、圖2-6(a)~圖2-6(e)、圖2-8(a)~圖2-8(e)、圖2-10(a)~圖2-10(e)、圖2-12(a)~圖2-12(e)亦同，其他間隔3小時之結果亦同。 二、以圖3-1中17個運動資料與圖4-4感測器布置說明「六個感測器」...「九個量測信號」等關連性，是否加以說明。 三、第四年計畫執行結果，應多呈現海巡署實船資料之分析，此為此計畫之核心目標，若只依賴 TaiComs 資料，則太依賴模擬資料，較無實用價值。	二、後續會在文章中適當處附加說明。 三、海巡署實船船體運動及統計值分析資料和定性驗證已在過去執行過。本計畫之重點在於系統規劃整合及關鍵技術發展。利用 TaiCOMS 只是作為掌握臺灣海域空間分布特性的工具，定量精度主要仍是取決於運動量測和波浪反算。	二、依處理情形辦理。 三、依處理情形辦理。
國立中興大學 蔡清標 教授： 一、本計畫擬利用海巡船舶運動推算臺灣海域即時波浪場之離型規畫與模擬，預期成果將對臺灣海域波浪預報有所助益。 二、目前係利用TaiComs波浪模擬，以類神經網路(ANN)建構臺灣海域波浪時空分佈，再以船舶運動建構與波浪分佈之關係。唯TaiComs之即時預報波浪模擬本身如有誤差存在時，本計畫是否能提供預期成效，或許可增加少數實測資料之建構。 三、ANN 所選用 TaiComs 資料係屬 3 月份之季風型態，並建議以 12 小時建構即	一、感謝評論。 二、利用 TaiCOMS 只是作為掌握臺灣海域空間分布特性的工具，定量精度主要仍是取決於運動量測和波浪反算。一般而言，可用的數值模式在空間分布特性的掌握上應有其可靠度。本系統的建構將能隨著應用所累積的資料持續精進改善。 三、夏秋交際如遇颱風風浪之類異常波浪狀態與分布時，原 ANN 的直接應用	一、符合。 二、依處理情形辦理。 三、依處理情形辦理。

可，是否適用於夏秋交際，請說明之。 四、ANN 模式中，為何需選取 2 個隱藏層，而非 1 個，本計畫是否有建構最適之 ANN 結構，請說明。 五、目前僅示波高結果，未來是否會包括週期及波向之建構，另等高線圖之邊界彩色線條建議改善。 六、波高各圖座標及等高線，請加註單位(m)。	可能導致較顯著的誤差，然而，此類問題應非不可解，而是必須另行考慮對應。 四、本研究依經驗法則選擇 2 個隱藏層，至於如何才是最適之 ANN 架構，依目前之類神經網路理論則應尚無定論。 五、資料以顯示波高為主，然週期及波向皆已有初步確認，同樣可行，後續將包含在內。等高線圖之邊界彩色線條會依建議改善。 六、後續會依建議加註。	四、依處理情形辦理。 五、依處理情形辦理。 六、依處理情形辦理。
國立臺灣海洋大學 曹登皓 副教授： 一、報告中各圖的品質不佳，例如圖 2-25、2-26 及 2-27 上符號不清楚，不易辨識，圖 4-1 上標示的 1、2、4、6 清楚，其他的標示看不清楚。 二、偏離分析中不論 12 或 3 小時間隔的案例，相關係數均有兩個相當低且均為 0328 及 0331 的案例，原因為何？是否能夠說明？是否能夠改善？如何改善？如果不能，此一方法的結果是否可信賴？ 三、第四頁，施行步驟 2：船舶運動實測及進行驗證，在本報告其他地方並未提及，是否會施行？ 四、第 3.3 節，船舶運動推算，其中有關模擬的說明不足。 五、第四章，無線傳輸模組精	一、後續會加註清楚。 二、0328 及 0331 整體波高較小，各點相對誤差較大是造成相關係數偏低的主要原因。增加較小波高分布的學習樣本數應有助於改善。 三、在此之前已做過實海域實測研究，而本研究之重點在於發展無線傳輸之量測系統，目標在於完成實驗室中的 bench test 驗證。 四、後續期末報告中會加強說明。 五、精進要點在於傳輸速率，	一、依處理情形辦理。 二、依處理情形辦理。 三、依處理情形辦理。 四、依處理情形辦理。 五、依處理情形辦理。

進，精進之處在哪裡?精進到何程度?是否可說明?	目標值是 100Hz，以便進行動態量測與分析。	
-------------------------	-------------------------	--

附錄二 期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

☐ 期末 ☒ 期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-97-H2DB007

計畫名稱：船舶運動推算臺灣海域即時波浪場模式建立之研究(4/4)

執行單位：國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系

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
國立成功大學水工所顧問 涂盛文 教授： - 研究步驟正確有條理，方法正確，成果具有實用性。 - 根據交通部編定有關港灣工程專有名詞彙編，請將報告中“有義波高”、“有義週期”分別更正為“示性波高”、“示性週期”。 - 經由本計畫模式計算出來之結果能正確反應波浪特性，證實研究方向確實可行，但準確性仍有改善空間。	- 感謝評論。 - 已依意見修訂。 - 本研究的目標即在於發展元件技術並確認其可行性，至於準確性方面預期未來將可隨著系統的應用及關聯理論或軟體的發展而持續提升。	- 符合。 - 依處理情形辦理。 - 依處理情形辦理。
國立中興大學 蔡清標 教授： - 建議在期末報告中，仍有本研究類神經網路架構之文圖的簡要說明。 - 類神經網路之輸入因子與輸出因子，請有明確的說明。 - 類神經網路標準步驟為訓練(training)，驗證(recalling)及預測(prediction)或	- 波浪反算類神經網路架構已於 P.56 之 3.3 節有簡述，而波浪場重建類神經網路架構也已於 P.66 之 3.4.3 節有簡述。 - 前述各類神經網路架構之輸入與輸出因子皆已有說明。 - 已於 P.7 第二章開始提及重建時附加文字說明。	- 依處理情形辦理。 - 依處理情形辦理。 - 依處理情形辦理。

forecasting)，報告中所謂重建或反算究竟屬 recalling 或 prediction？應以釐清。 4. 各偏離分析圖及第三章各反算結果圖，建議附加 R^2 值(建議統一為相關係數圖)。 5. 以報告中呈現之波高等高線圖，在相同時刻下，波高分佈特性却有明顯差異，其表現法有加強之空間。 6. 本研究最大貢獻在建立以海巡船舶運動反算分析波浪的方法，具有可行性。 7. 臺灣地形邊界，可否以實際地圖樣呈現，較真。 8. 圖 2-26、2-27 及圖 3-1 及其他，應增加圖形之清晰度。 9. 報告所示之名詞應一致。	4. 已統一以偏離分析顯示，應以足夠顯示反算趨勢。 5. 已依意見改善，各圖皆維持相同的等高值。 6. 感謝評論。 7. 目前若直接以實際地形邊界繪製，會有等高線劃入陸地之情況發生，反而造成不必要的誤解。而現況的呈現方式並不影響本研究目標的說明。 8. 已做必要的重製改進。 9. 已依意見修訂。	4. 依處理情形辦理。 5. 依處理情形辦理。 6. 符合。 7. 依處理情形辦理。 8. 依處理情形辦理。 9. 依處理情形辦理。
國立臺灣海洋大學 林昭圭 副教授： 1. 利用船舶運動反算波浪場模式之建立如能達到目標對於彌補近海波浪資訊之不足有相當大的助益，未來亦可推廣至海軍的艦艇。 2. 由於本計畫係屬第四年計畫，除非另需撰寫總結報告，原則建議本報告應能詳盡反應前三年之研究歷程，包含理論部分，以便後續研究有所依循。 3. 類神經網路之學習係以 12 小時間隔的資料為依據，但未見其他時間間隔之測試，是否恰當了應再確認。尤其颱風或鋒面時期海象	1. 感謝評論。 2. 會另外彙整總結摘要報告。 3. 此點結論應以正常天候為前提，未必適用於有激烈變動之異常天候。此外，本系統之海巡船舶在颱風天候之運作上原本	1. 符合。 2. 依處理情形辦理。 3. 依處理情形辦理。

變化劇烈，偏差可能很大。 4. 同一時間之4組樣本反算結果差異仍大，是否在可接受範圍？如何定義可接受之偏差值？ 5. 報告書未說明訓練及反算各需時多久？無法判斷是否可作為即時波浪場之推算。 6. 海域波浪經常會有長週期之波動成份(湧)，如何結合相關模式，以提高準確性？ 7. TaiCOMS 預報了 WAM 及 SWAN 兩種波場，本報告未說明採用何者？	即會受到限制。 4. 雖無明確定量之偏差值可作為定義，然而本報告以目前所知船載測波系統的精度約在$\pm 0.5\text{m}$為依據。 5. 類神經網路訓練較費時，但皆屬於離線作業，至於線上作業的反算，無論是波浪反算或波浪場重建其計算量皆極小，將不會影響線上作業的即時性。 6. 若能依各區域導入海域波浪更精確的波譜(包含湧)，則應能有助於準確性的提高。 7. 關於 TaiCOMS 於前期報告第二章已有說明。本報告已依意見附加說明。	4. 依處理情形辦理。 5. 依處理情形辦理。 6. 依處理情形辦理。 7. 依處理情形辦理。
國立臺灣海洋大學 曹登皓 副教授 1. 中文摘要指出“95 年度(上一年度)……；96 年度(本年度) ……”，所指之年度應該有誤，請仔細校核。英文摘要中，“In the last year (FY96) ……”，亦應是有誤。 2. 圖 2-1~圖 2-24(d)的等高線圖內之等高線所取的值均不一樣，以致整個等高線的分佈狀況亦不一樣造成難以比較。 3. 與期中報告的相同問題是 03/03 的結果之偏離分析比較好，而之後的比較差，到 03/31 的結果之偏離分析幾乎是很不好，其原因為何並無說明及討論。	1. 已依意見修訂。 2. 已依意見改善，各圖皆維持相同的等高值。 3. 類神經網路作為一個描述複雜系統的近似模式，對於各點的預測不必然能維持相同的精度。本研究的目標在於發展可行的方法，至於精度方面預期未來將可隨著系統	1. 依處理情形辦理。 2. 依處理情形辦理。 3. 依處理情形辦理。

4. P.50 式(3-3)之“χ”有誤？P.51 式(3-9)及(3-11)之積分為 $0 \sim 2\pi$，但 P.50 之式(3-12)下一行提及“每間隔 10 度的 18 個成份波”，則只有 180° 而已？而且在外海來向波浪是否只有 180° 而已？P.55，式(3-17) $T_1 = 2\pi \frac{\int_0^\infty \omega S(\omega) d\omega}{m_0} = \frac{2\pi m_0}{m_1}$ 中之 $2\pi \frac{\int_0^\infty \omega S(\omega) d\omega}{m_0}$ 應有誤？ 5. 第 3.4.3 節利用類神經網路重建波浪之空間分佈，只舉 03/03 之結果，P.70 中提及“結果大致良好”，但如果回顧第二章的結果，狀況是日期愈往後的結果差愈多，因此 3.4.3 的結果說明值得檢討，並且所謂的“合理”及“良好”的標準為何？	的應用及關聯理論或軟體的發展而持續提升。 4. P.50 式(3-3)已修正。關於外海來向波浪是否只有 180°，本研究所用短峰不規則波之描述是通常的設定，主波向能量分布最高，向左右遞減為零，且沒有與主波向相反方向的能量。P.55，式(3-17)為 $2\pi / \frac{\int_0^\infty \omega S(\omega) d\omega}{m_0}$ 之誤，已修正。 5. 雖無明確定量之偏差值可作為定義，然而本報告以目前所知船載測波系統的精度約在 $\pm 0.5\text{m}$ 為依據。	4. 依處理情形辦理。 5. 依處理情形辦理。
國立成功大學 黃明志 教授 1. 本年度主要施行步驟之一「無線式船舶量測模組應用實測與驗證」部分欠缺海巡船舶測試與驗證資料。 2. 第四章「無線傳輸模組精進」部分，只確認系統可達 100Hz 的傳輸速率，並無嚴謹運動量測測試結果。「單一加速度計規則方式重覆反轉測試，依序手動方式反轉或採樣六個感應器一、二種測試方式並不嚴謹」	1. 在本計畫執行之前，臺大過去的研究已對有線式船舶量測模組進行過實測驗證，正是在此前提下提出無線式船舶量測模組的關鍵課題。 2. 無線傳輸模組精進，其重點即在於取得足夠高的取樣頻率，亦即只要能確認系統可依序感測 9 個頻道運動資料，並達 100Hz 的無線傳輸速率，即可接續過去的成果。	1. 依處理情形辦理。 2. 依處理情形辦理。
曾相茂 研究員		

1. 是否能將期中報告審查意見處理情形列表在報告內，以便參考。 2. 經過四年分析研究已完成所建立的核心技術，亦即由船舶之運動量測及波浪反算而達到能提供波浪資料，其成果已具有實用價值相當難得，且都按進度達到本所計畫之需求，是值得肯定的，不知實務上可否開始執行使用？可否有可能可將技術轉移給本所有關人員操做？ 3. 4年計畫已經完成了但是否有進一步的後續研究。	1. 已附加期中報告審查意見處理情形表。 2. 本研究已建立相關核心技術並提出系統雛型規劃，其成果資料皆可轉移。 3. 後續可採產學合作方式逐步推動系統開發工作。	1. 依處理情形辦理。 2. 依處理情形辦理。 3. 依處理情形辦理。
--	--	--

附錄三 期中簡報資料

NTU-ESOE

Motion & Control Lab.

計畫編號：MOTC-IOT-97-H2DB007



船舶運動推算臺灣海域即時 波浪場模式建立之研究 (4/4) 期中簡報



計畫主持人：邱逢琛 教授

協同主持人：郭振華 副教授

國立台灣大學

船舶技術研究中心/工程科學及海洋工程系

2008/07/22

1

NTU-ESOE

Motion & Control Lab.



計畫總目標及分年計畫內容

目標：

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术，以作為建置該系統之基礎。

核心技术：

- (1) 波浪反算分析方法 (94年度 / 已完成)
- (2) 無線式船舶運動量測模組 (95年度 / 初步完成，仍在精進中)
- (3) 台灣海域波浪全貌分析方法 (96年度，已完成)
- (4) 可行性及其雛形規劃：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 (97年度，本年度)

2



本期計畫目標及工作內容

目標：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以確認其可行性。

內容：

1. 整體系統架構之雛形規劃
2. 台灣海域即時波浪場之推算模擬
3. 無線式船舶運動量測模組應用實測與驗證

本期中報告將說明：

- (1) 台灣海域波浪資料密度對於類神經網路訓練與重建精度之效應；
- (2) 台灣海域即時波浪場推估模擬之流程規劃與進度；
- (3) 船體運動感測訊號無線傳輸精進工作的進展。

3



台灣海域波浪資料密度效應驗證

- 由於前期計畫中所取得的TaiCOMS資料，每筆間隔為12小時，為確認以12小時間隔的資料所訓練的類神經網路具有時間上的代表性，本研究進一步取得了2007年TaiCOMS間隔3小時的資料，並且選取其三月單月的資料作為驗證對象。並且分別以3小時間隔及12小時間隔的資料來訓練類神經網路，並且比較兩者之重建準確性。

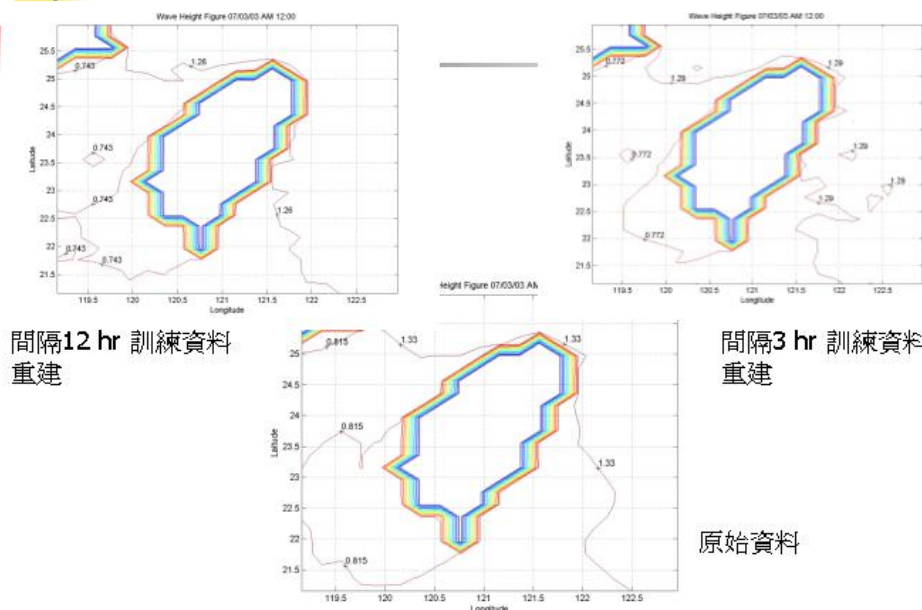
4

間隔12小時/3小時之類神經網路模式訓練與重建

- **間隔12小時:**訓練樣本只挑選2007年三月中AM 12:00與PM 12:00的資料作為訓練樣本，故共構成62組資料，隨機再由20 X 25(共500點)網格中取出50個點作為訓練樣本(62組中每組個別產生100個訓練樣本資料，亦即構成6200筆訓練資料)。訓練完成後再由該月份內任意選取六筆資料(不一定為AM 12:00與PM 12:00的資料，而是其他時間的資料)各別重新隨機抽取4組樣本反算原樣本全貌，並個別繪圖與比較確認。
- **間隔3小時:**訓練樣本使用間隔3小時全部的資料作為訓練樣本，亦即每日8組，共構成248組資料，隨機再由20 X 25(共500點)網格中取出50個點作為訓練樣本(248組中每組個別產生100個訓練樣本資料，亦即構成24800筆訓練資料)。訓練完成後再由該月份內任意選取六筆資料(同樣不一定為AM 12:00與PM 12:00的資料)各別重新隨機抽取4組樣本反算原樣本全貌，並個別繪圖與比較確認。

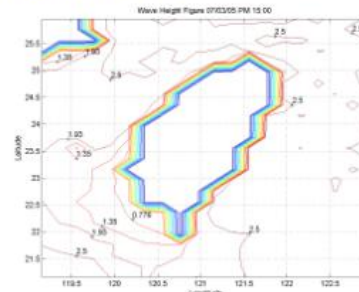
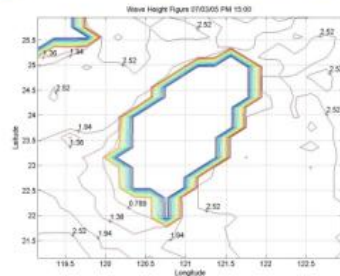
5

2007/03/03 AM 12:00 波高分佈

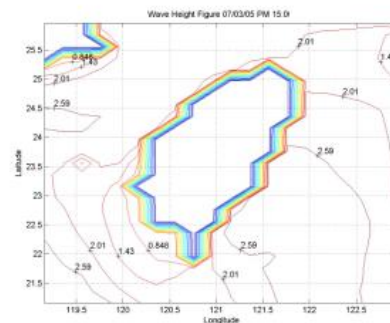


6

2007/03/05 PM 15:00 波高分佈



間隔12 hr 訓練資料
重建

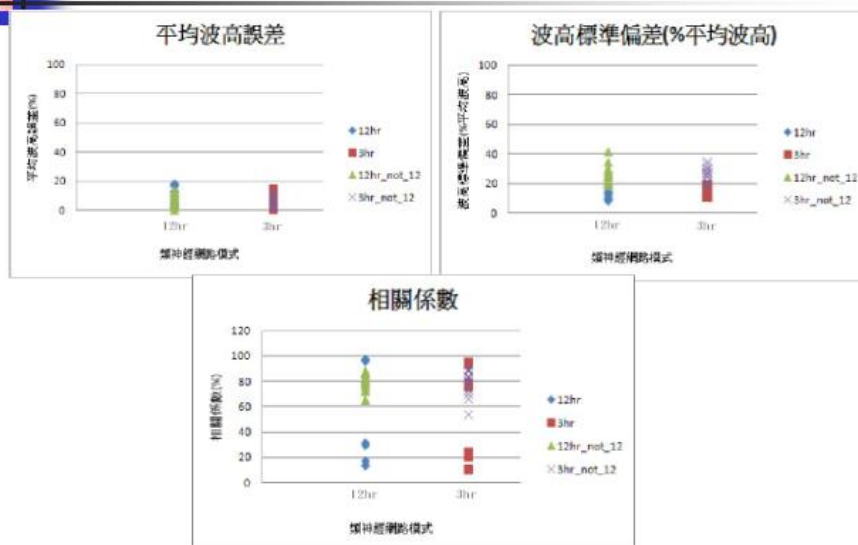


間隔3 hr 訓練資料
重建

原始資料

7

比較與討論



8

比較與討論

- **平均波高誤差:**可以發現在3小時間隔的類神經網路模式下有較低的誤差，但是其誤差與12小時間隔的類神經網路模式差異性並不大。
- **波高標準偏差:**亦可發現在3小時間隔的類神經網路模式下有較低的誤差，但其與12小時間隔的類神經網路模式差異性亦不大。
- **相關係數:**可以發現到在相關係數中反而12小時間隔之類神經網路模式有較好的表現。
- **因為3小時間隔的類神經網路模式其準確度並未大幅改善，且因其訓練資料量龐大，造成類神經網路的訓練相對費時(約為12小時間隔模式之4~5倍時間)，因此本研究認為使用12小時間隔之類神經網路模式應已足夠。**

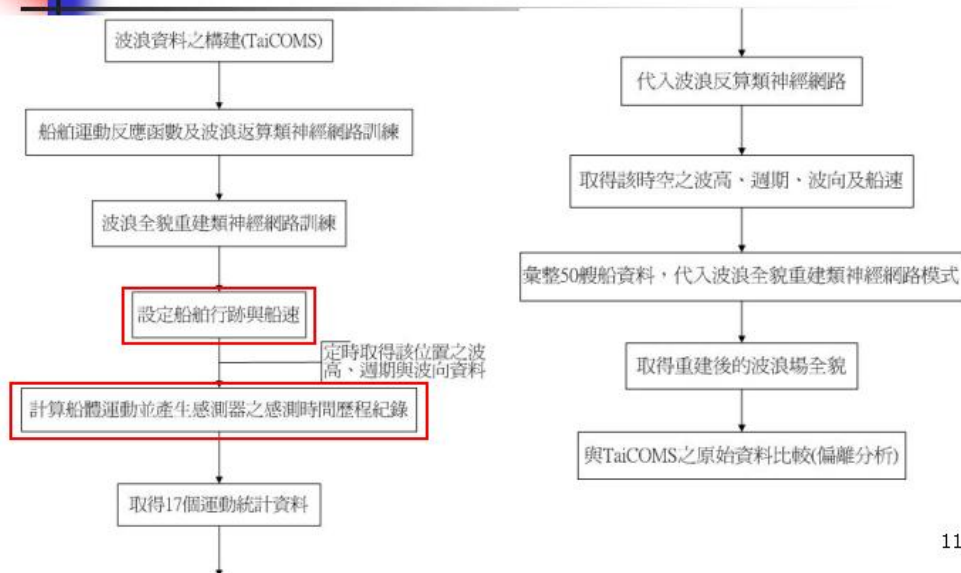
9

台灣海域即時波浪場之推算模擬步驟與方法

1. 每一空間區塊隨時間變動的波浪資料建構 (依TaiCOMS)
2. 船舶運動反應函數計算及波浪反算類神經網路訓練
3. 波浪全貌重建類神經網路訓練
4. 隨船舶航行軌跡、船速之設定，定時取得遭遇的波高、周期及波向資料 (約50艘船數)
5. 計算船體運動，並產生各感測器位置的感測時間歷程紀錄(約3~5 min資料)
6. 從感測器紀錄分析17個運動統計資料
7. 代入波浪反算類神經網路計算波高、周期波向及船速資料
8. 彙整定時的50個船位及波浪資料，代入波浪全貌重建類神經網路重建波浪全貌分布
9. 與TaiCOMS於該定時的原始波浪全貌分布進行比較之偏離分析

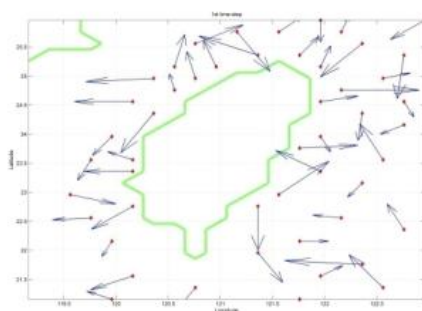
10

模擬流程

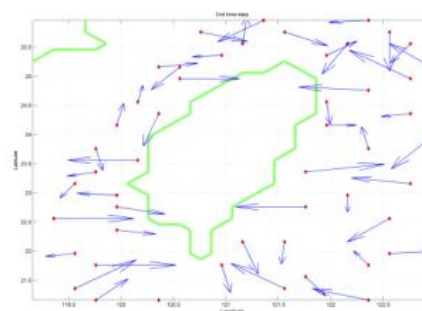


11

船舶航跡與船速設定



航跡與船速例一



航跡與船速例二

12



船體運動推算

短波頂不規則波：

$$S(\omega, \mu) = S(\omega) \cdot M(\mu)$$

$$\frac{S(\omega)}{H_v^2} = 0.257 \times \frac{1}{\omega_v} \left(\frac{\omega}{\omega_v} \right)^{-5} \times \exp(-1.03 \times \left(\frac{\omega}{\omega_v} \right)^{-4}) \quad \text{1979 ISSC wave spectrum}$$

$$M(\mu) = \frac{1}{\mu_s} \cos^n \left[\left(\frac{\mu}{\mu_s} \right) \frac{\pi}{2} \right] \quad ; \quad -\mu_s \leq \mu \leq \mu_s$$

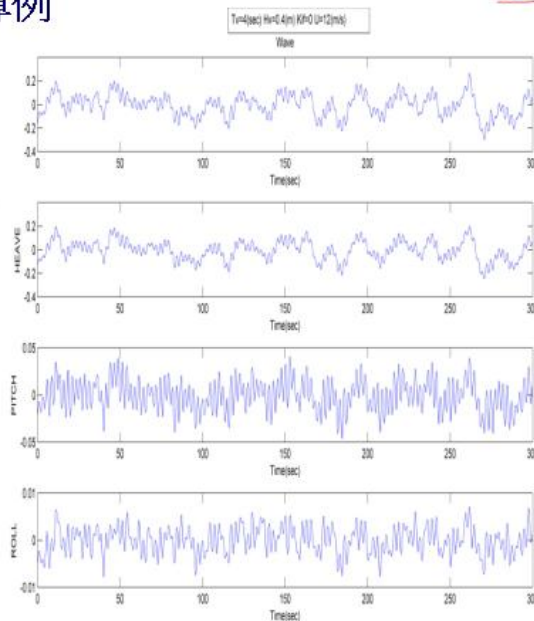
$$= 0 \quad ; \quad \text{其他}$$

13



船體運動推算例

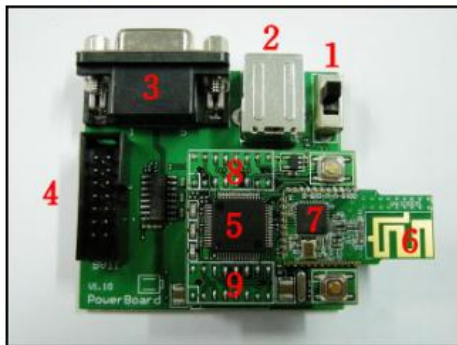
$H_v=0.4(\text{m})$ 、 $T_v=4(\text{sec})$ 、
波向與航向夾角0度、
船速12(knot):



14

無線傳輸模組精進

- 為了改進運動量測資料無線傳輸的速度，本研究將引用本系吳文中教授的光機電實驗室開發中的傳輸模組。



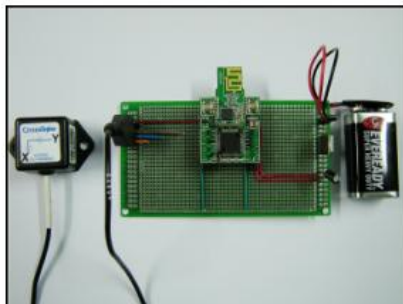
1. 外接電源開關
2. 外接電腦USB插座提供5伏電源同時可以傳輸資料
3. 外接RS232插座提供資料傳輸(未使用)
4. JTAG外接燒入器插座提供控制程式燒入
5. 單晶片控制器MSP430F1611
6. 無線電天線
7. 單晶片控制器UZ2400(負責控制無線電收發功能，控制程式固定無法更改)
8. 外接感測器訊號
9. 外接感測器訊號

可攜式電腦端使用的
無線傳輸模組“Super Node”之外觀圖

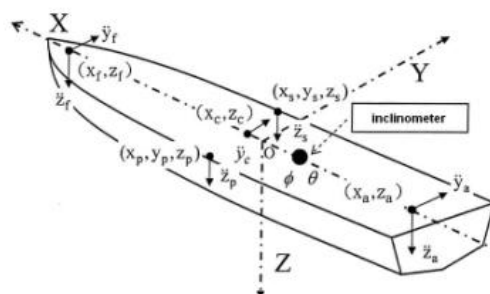
15

無線量測系統架構

本研究使用Crossbow公司所製造的加速度感測器及傾角感測器，預計在船體四周佈置六個感測器訊號發射端及一個可攜式電腦訊號接收端，共計使用七個Super Node，以星型網路方式接收感測訊號。



在感測器端使用的
“Super Node” 之外觀圖



感測器佈置

16



期中進度報告

本期研究於現階段初步完成：

台灣海域即時波浪場推估模擬之流程規劃，取得時間上更密集的波浪資料，並完成船體運動模擬的試算，後續將能進行波浪反算模擬。

此外，在無線傳輸模組精進方面，已完成單一感測器訊號透過無線方式傳回可攜式電腦端之測試。目前正撰寫控制程式以求達到九個量測訊號依序接收至可攜式電腦端之目標。

另外，也進一步確認使用12小時間隔之波浪資料訓練類神經網路模式應已足夠。

附錄四 期末簡報資料

NTU-ESOE

Motion & Control Lab.

計畫編號：MOTC-IOT-97-H2DB007





船舶運動推算臺灣海域即時波浪場模式 建立之研究 (4/4) 期末簡報

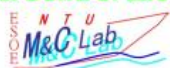
計畫主持人：邱逢琛 教授
協同主持人：郭振華 副教授
國立台灣大學
船舶技術研究中心/工程科學及海洋工程系

2008/11/24

1

NTU-ESOE

Motion & Control Lab.





計畫總目標及分年計畫內容

目標：

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。

核心技術：

- (1) 波浪反算分析方法 (94年度 / 已完成)
- (2) 無線式船舶運動量測模組 (95年度 / 初步完成，本年度精進)
- (3) 台灣海域波浪全貌分析方法 (96年度，已完成)
- (4) 可行性及其雛形規劃：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 (97年度，本年度)



本期計畫目標及工作內容

目標：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以確認其可行性。

內容：

1. 整體系統架構之雛形規劃
2. 台灣海域即時波浪場之推算模擬
3. 無線式船舶運動量測模組精進之確認

3



台灣海域波浪資料密度效應驗證

由於前期計畫中所取得的TaiCOMS資料，每筆間隔為12小時，為確認以12小時間隔的資料所訓練的類神經網路具有時間上的代表性，本研究進一步取得了2007年TaiCOMS間隔3小時的資料，並且選取其三月單月的資料作為驗證對象。並且分別以3小時間隔及12小時間隔的資料來訓練類神經網路，並且比較兩者之重建準確性。

結論：因為3小時間隔的類神經網路模式其準確度並未大幅改善，且因其訓練資料量龐大，造成類神經網路的訓練相對費時(約為12小時間隔模式之4~5倍時間)，因此本研究認為使用12小時間隔之類神經網路模式應已足夠。

4



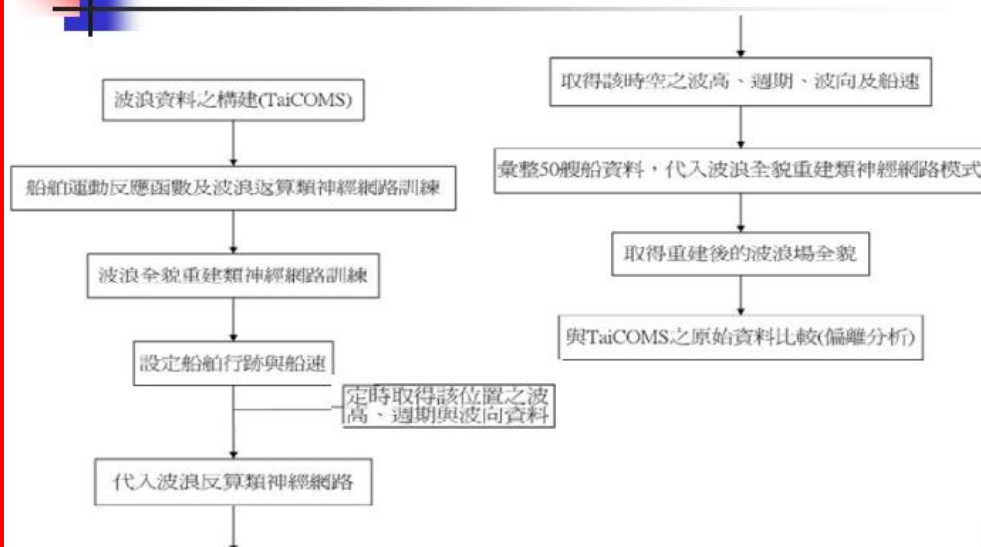
台灣海域即時波浪場之推算模擬步驟

1. 每一空間區塊隨時間變動的波浪資料建構 (依TaiCOMS)
2. 船舶運動反應函數計算及波浪反算類神經網路訓練
3. 波浪全貌重建類神經網路訓練
4. 設定船舶航跡與船速
5. 隨船舶航行軌跡、船速之設定，定時取得遭遇的波高、周期及波向資料(約50艘船數)
6. 代入波浪反算類神經網路計算波高、周期波向及船速資料
7. 彙整定時的50個船位及波浪資料，代入波浪全貌重建類神經網路重建波浪全貌分布
8. 與TaiCOMS於該定時的原始波浪全貌分布進行比較之偏離分析

5



模擬流程



6

波浪中的船體運動反應計算

短峰不規則波

$$S(\omega, \mu) = S(\omega) \cdot M(\mu)$$

$$\frac{S(\omega)}{H_v^2} = 0.257 \omega_v^{-1} \left(\frac{\omega}{\omega_v}\right)^{-5} \exp[-1.03 \left(\frac{\omega}{\omega_v}\right)^4] : \text{ISSC 1978 點波譜}$$

$$M(\mu) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \mu, \quad -\frac{\pi}{2} \leq \mu \leq \frac{\pi}{2}$$

$$M(\mu) = 0, \quad \text{其他}$$

$$\text{式中, } H_v = H_{\frac{1}{3}}$$

$$\omega_v = 2\pi / T_v = 2\pi / T_{H_{\frac{1}{3}}}$$

波浪中的船體運動反應計算

短峰不規則波中的船體運動反應

$$\xi(t) = \sum_i \sum_j \bar{\zeta}_{ij} \cos[\omega_{ej} t + \varphi_{ij}] A(U, \omega_{ej}, \chi - \mu_j)$$

式中, $A(U, \omega_{ej}, \chi - \mu_j)$: 規則波中船體運動反應函數(RAO)

χ 為波之主方向與船行進方向間之夾角

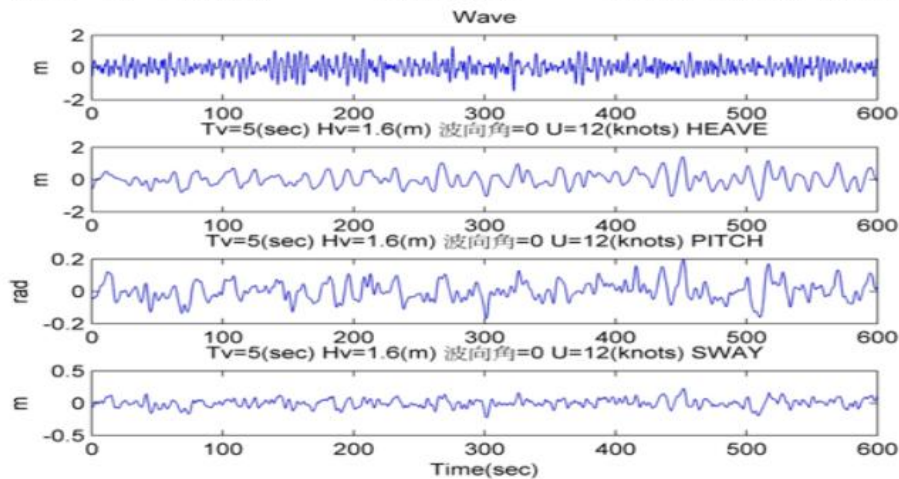
μ_j 是成分波與波之主方向間之夾角

$$\omega_{ej} = \omega_j - \frac{\omega_j^2 U \cos(\chi - \mu_j)}{g}$$



短峰不規則波中的船體運動反應模擬例

船速12節，有義波高1.6 m，有義波週期5 sec，波向與航向夾角0度(順浪)

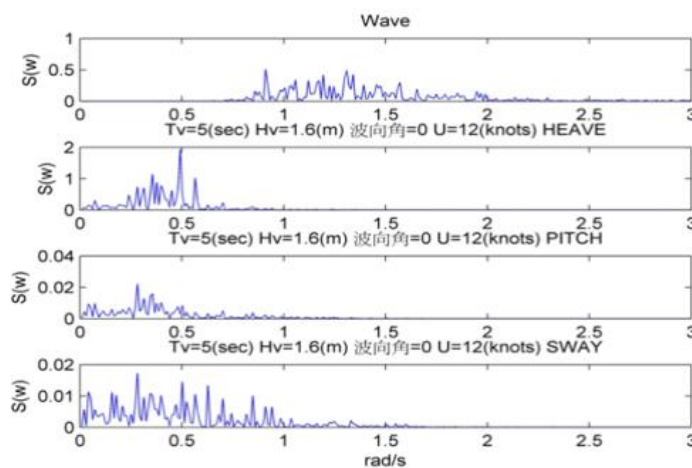


9



短峰不規則波中的船體運動反應模擬例

船體運動模擬例(分散譜)



10

波浪反算

運動反應時間歷程

→ 運動分散譜

→ 起伏、縱搖及側移運動的 T_z 、 T_c 、 T_1 、 $H_{1/3}$ 、 $HA_{1/3}$ 、起伏 m_0 與側移 m_0 比值及縱搖 m_0 與側移 m_0 比值等合計17個運動反應狀態量

→ 代入已訓練完成的類神經網路 (具備17nodes的輸入層及兩層隱藏層各10 nodes 及7 nodes)

→ 從輸出層得到反算的有義波高、有義波週期、波向角以及船速。

11

波浪反算類神經網路之訓練

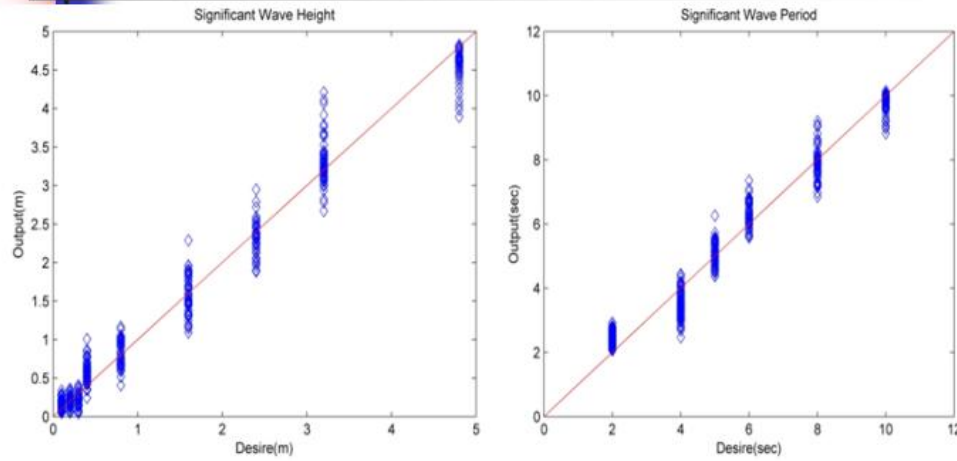
	階級 0-1	階級 0-2	階級 0-3	階級 1	階級 2	階級 3	階級 4	階級 5	階級 6
有義波 高(m)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.8	1.6	2.4	3.2	4.8
有義波 週期(sec)	2	2	2	4	4	5	6	8	10

波向角0~180度分為7個等間距之角度 (0度、30度、60度、90度、120度、150度以及180度)，

船速7種 (12節、16節、20節、24節、26節、28節和30節)，
合計得 $9 \times 7 \times 7 = 441$ 組訓練樣本

12

波浪反算結果

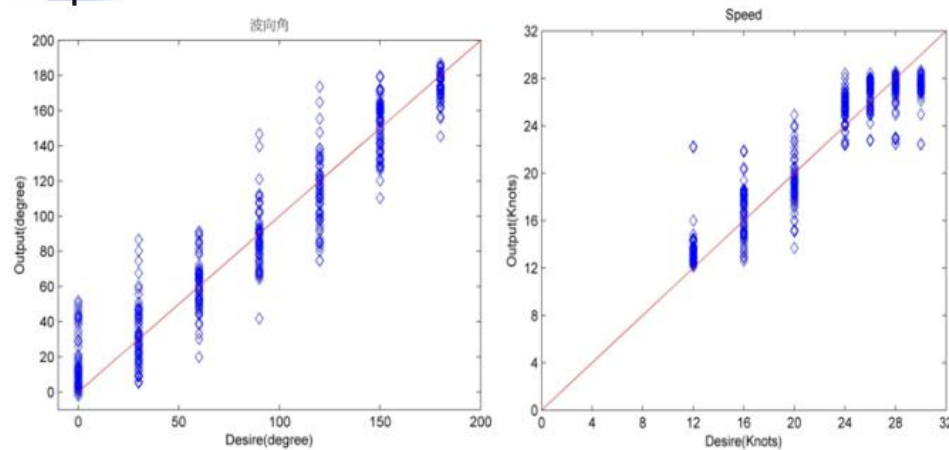


有義波高

有義波週期

13

波浪反算結果



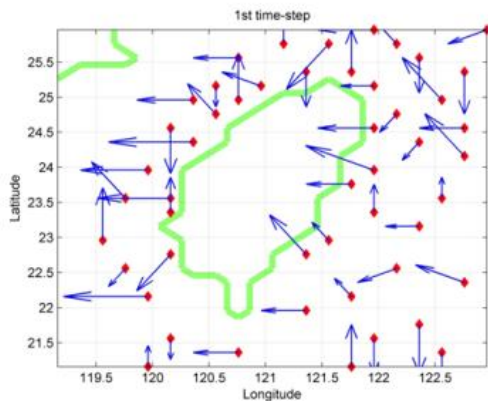
波向角

船速

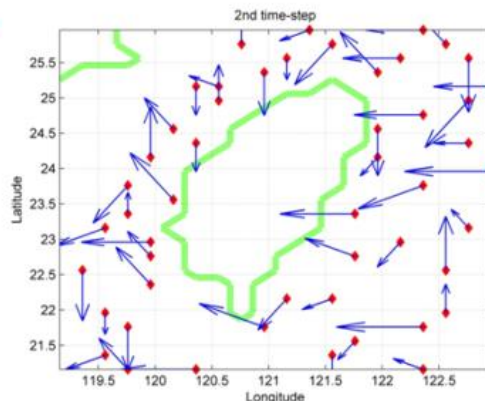
14

即時波浪場之推算模擬

船舶航跡與船速設定



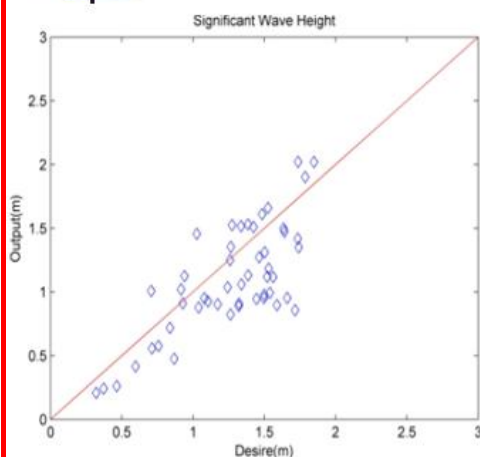
航跡與船速例一(時段一)



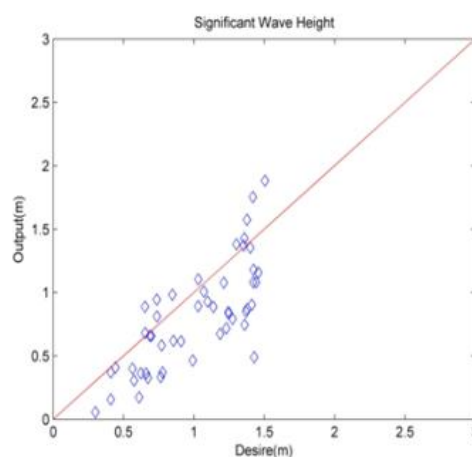
航跡與船速例二(時段二)

15

有義波高反算結果



時段一 2007/3/3 12:00 AM.

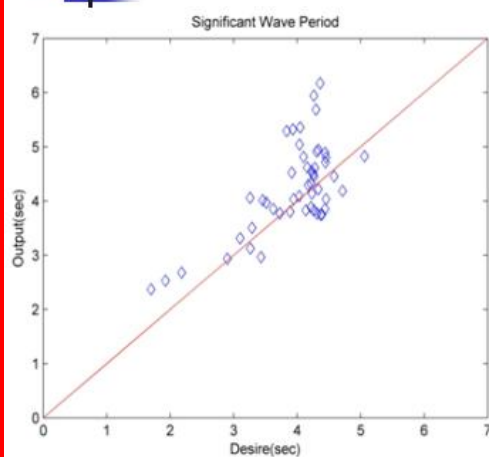


時段二 2007/3/3 3:00 AM.

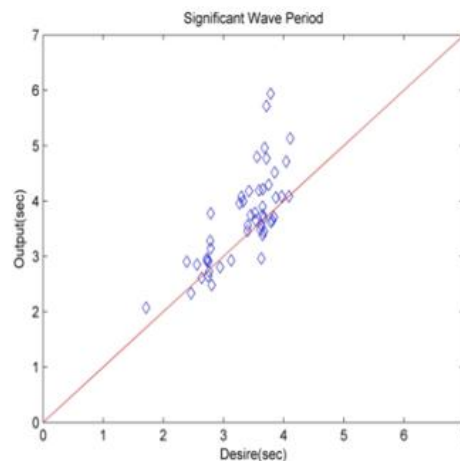
16



有義波周期反算結果



時段一 2007/3/3 12:00 AM.

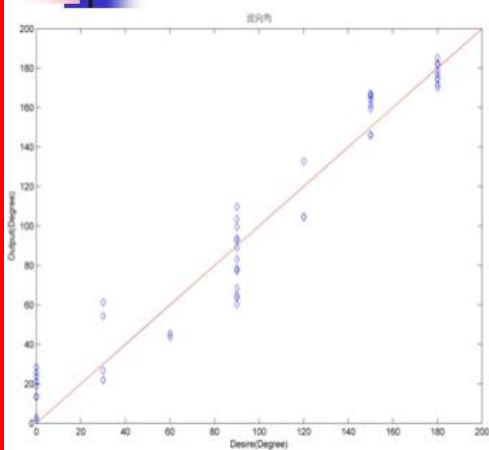


時段二 2007/3/3 3:00 AM.

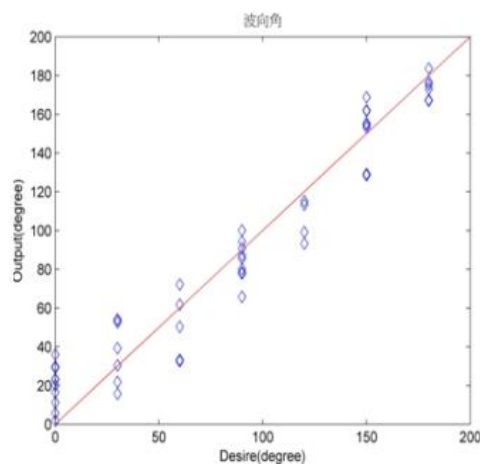
17



波向角反算結果



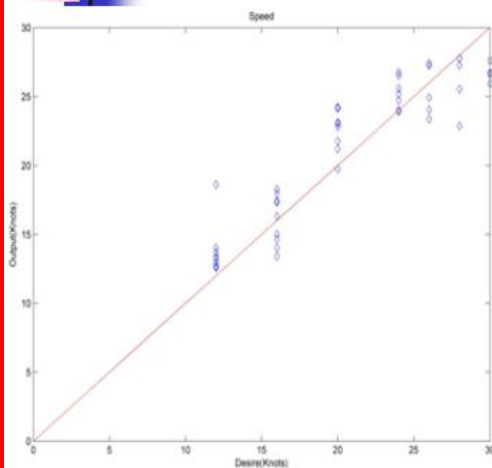
時段一 2007/3/3 12:00 AM.



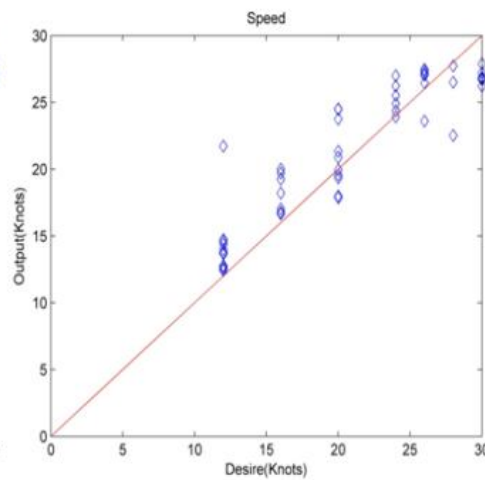
時段二 2007/3/3 3:00 AM.

18

船速反算結果



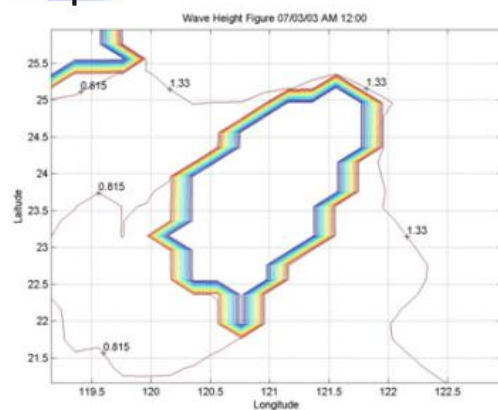
時段一 2007/3/3 12:00 AM.



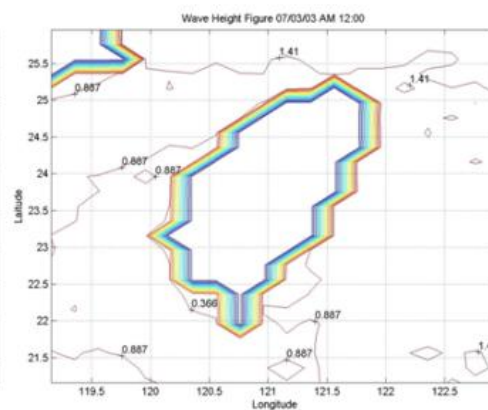
時段二 2007/3/3 3:00 AM.

19

利用類神經網路重建波浪之空間分佈(波高)



時段一 2007/3/3 12:00 AM.
原始資料之波高分佈(unit: m)

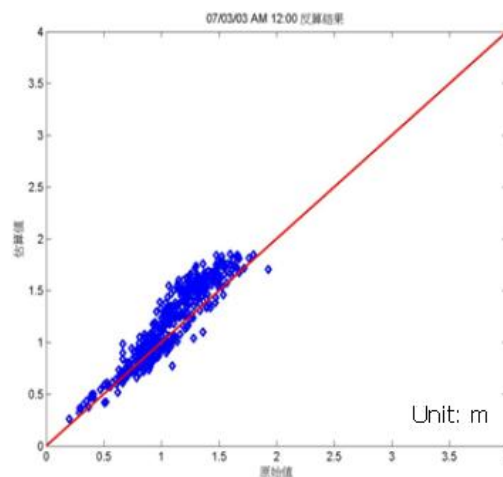


時段一 2007/3/3 12:00 AM.
類神經網路重建波高分佈(unit: m)

20



利用類神經網路重建波浪之空間分佈(波高)



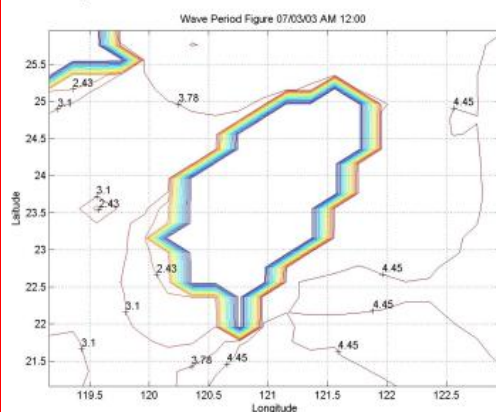
相關係數:
93.3%
平均波高誤差:
9.8%
標準偏差(%平均誤差):
15.26%

時段一 2007/3/3 12:00 AM. 類神經網路重建波高分佈之偏離分析

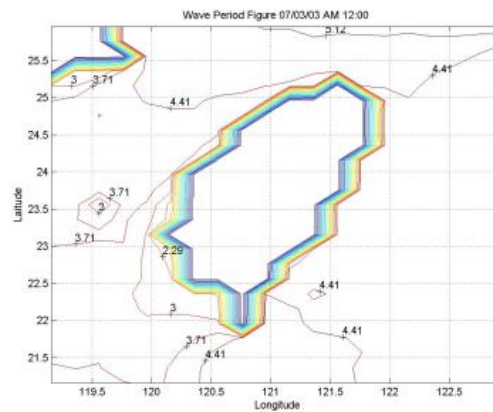
21



利用類神經網路重建波浪之空間分佈(周期)



時段一 2007/3/3 12:00 AM.
原始資料之周期分佈(unit: sec)

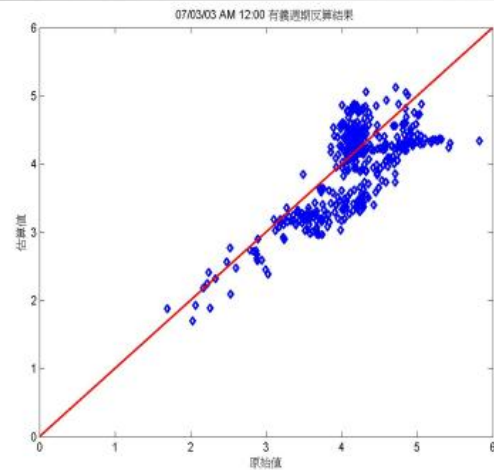


時段一 2007/3/3 12:00 AM.
類神經網路重建周期分佈(unit: sec)

22



利用類神經網路重建波浪之空間分佈(周期)



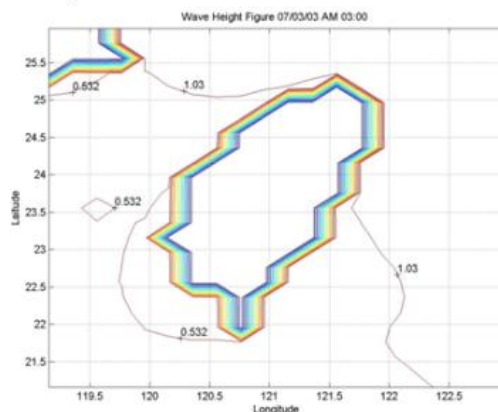
相關係數: 75.8%
平均有義波周期誤差:
5.0%
標準偏差(%平均誤
差): 12.1%

時段一 2007/3/3 12:00 AM. 類神經網路重建周期分佈之偏離分析

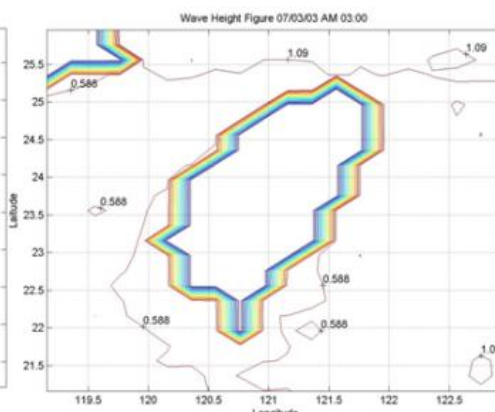
23



利用類神經網路重建波浪之空間分佈(波高)



時段二 2007/3/3 3:00 AM.
原始資料之波高分佈(unit: m)

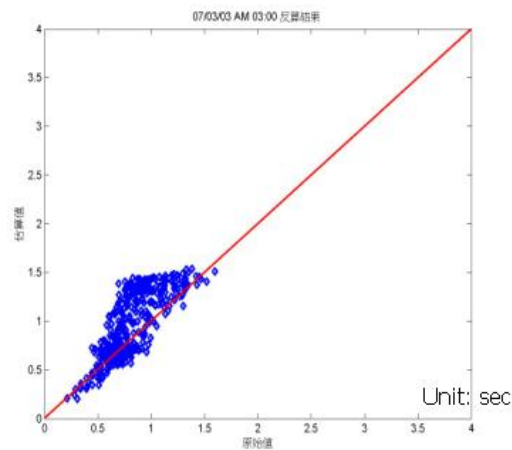


時段二 2007/3/3 3:00 AM.
類神經網路重建波高分佈(unit: m)

24



利用類神經網路重建波浪之空間分佈(波高)



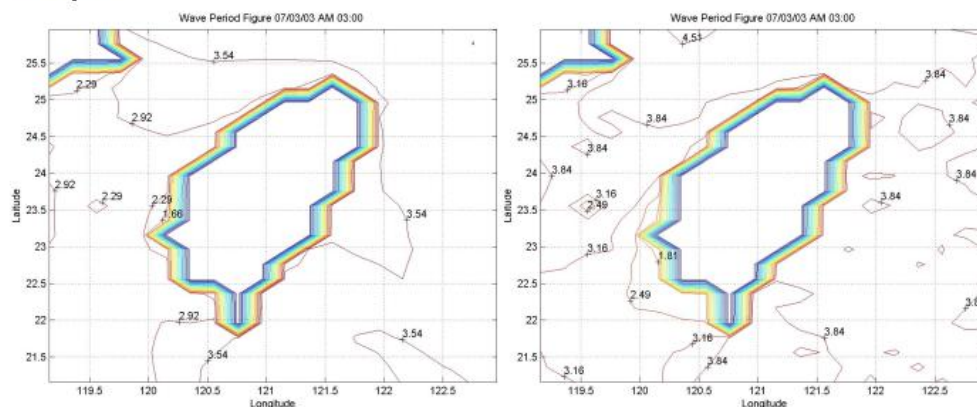
相關係數:
78.4%
平均波高誤差:
16.0%
標準偏差(%平均誤差):
27.1%

時段二 2007/3/3 3:00 AM. 類神經網路重建波高分佈之偏離分析

25



利用類神經網路重建波浪之空間分佈(周期)

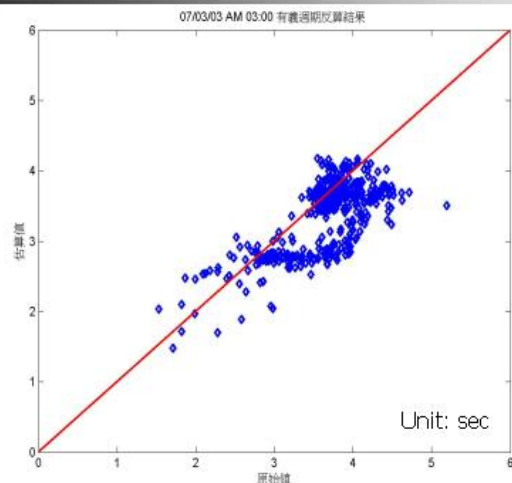


時段二 2007/3/3 3:00 AM.
原始資料之周期分佈(unit: sec)

時段二 2007/3/3 3:00 AM.
類神經網路重建周期分佈(unit: sec)

26

利用類神經網路重建波浪之空間分佈(周期)



相關係數: 70.3%
平均有義波周期誤差:
8.8%
標準偏差(%平均誤
差): 15.0%

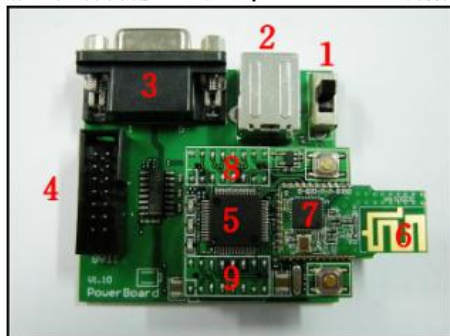
時段二 2007/3/3 3:00 AM. 類神經網路重建周期分佈之偏離分析

27

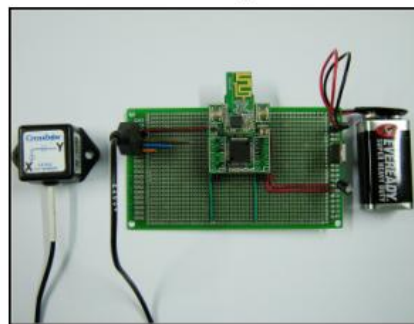
無線傳輸模組精進

為了精進運動量測資料無線傳輸的速度，本研究引用了本系吳文中教授的光機電實驗室所開發出的傳輸模組Super Node。

可攜式電腦端使用的“Super Node”之外觀圖



感測器端使用的“Super Node”之外觀圖

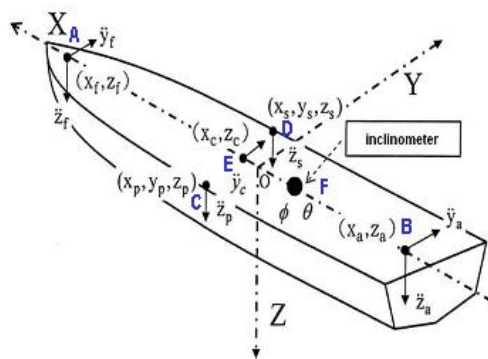


1. 外接電源開關 2. 外接電腦USB插座提供5伏電源同時可以傳輸資料
3. 外接RS232插座提供資料傳輸(未使用) 4. JTAG外接燒入器插座提供控制程式燒入
5. 單晶片控制器MSP430F1611 6. 無線電天線
7. 單晶片控制器U22400(負責控制無線電收發功能，控制程式固定無法更改)
8. 外接感測器訊號 9. 外接感測器訊號

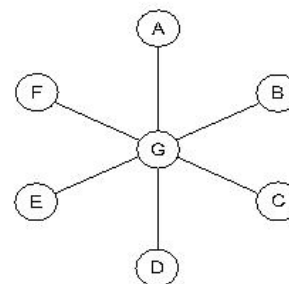
28

感測器布置及無線傳輸系統架構

本研究使用**Crossbow**公司所製造的加速度感測器及傾角感測器，在船體四周佈置六個感測器訊號發射端及一個可攜式電腦訊號接收端，共計使用七個**Super Node**，以星型網路方式接收感測訊號。



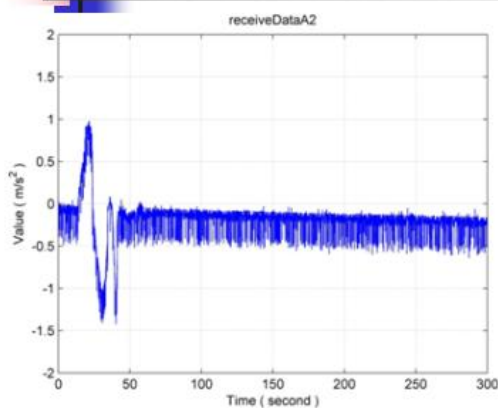
感測器佈置在船體的示意圖



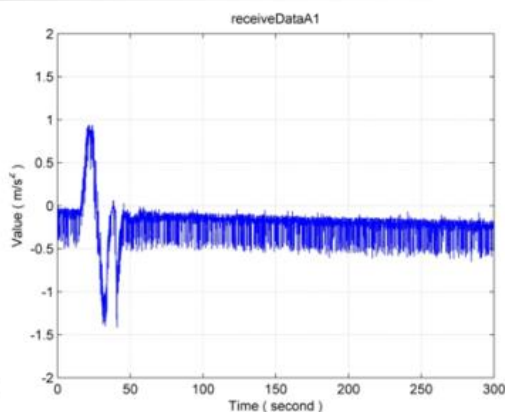
感測器星狀分佈圖

29

實驗測試樣本



A端Y軸(艏側向)加速度計測試樣本

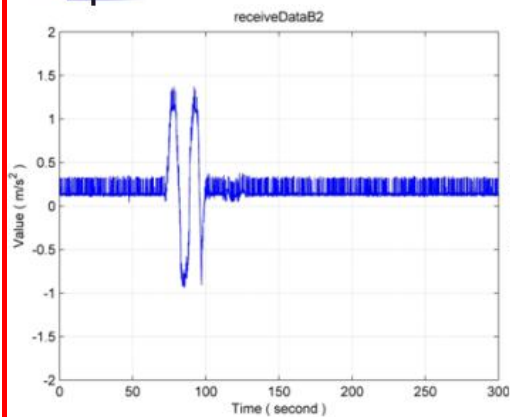


A端Z軸(艏垂向)加速度計測試樣本

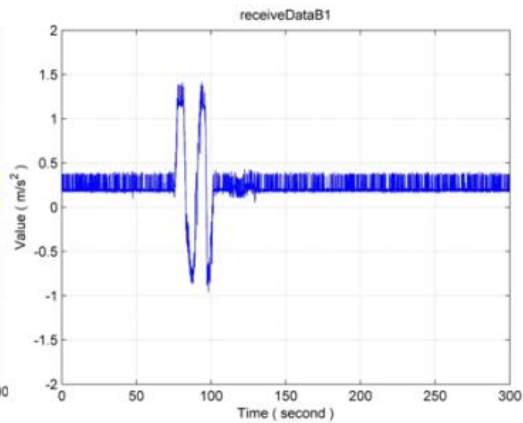
30



實驗測試樣本



B端Y軸(髀側向)加速度計測試樣本

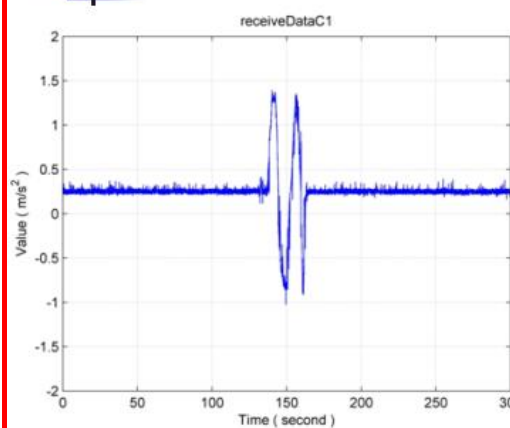


B端Z軸(髀垂向)加速度計測試樣本

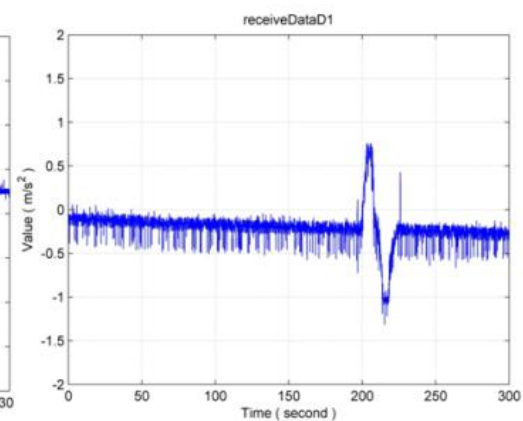
31



實驗測試樣本



C端Z軸(左肱垂向)加速度計測試樣本

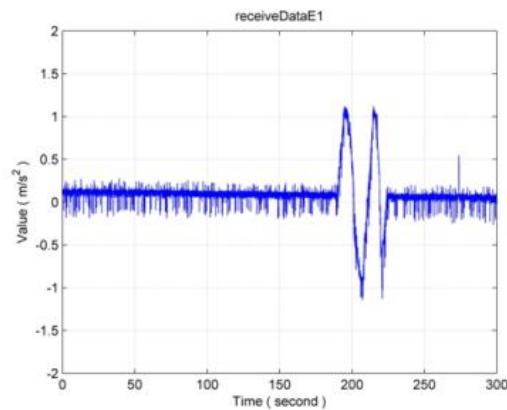


D端Z軸(右肱垂向)加速度計測試樣本

32



實驗測試樣本

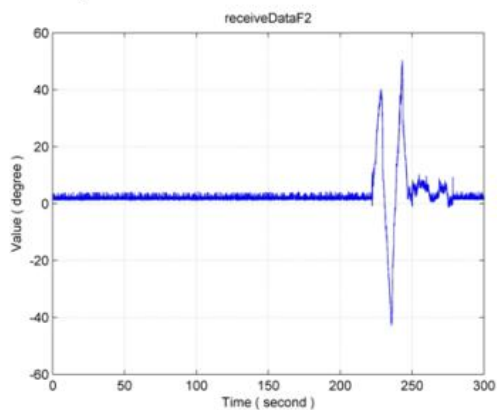


E端Y軸(伸側向)加速度計測試樣本

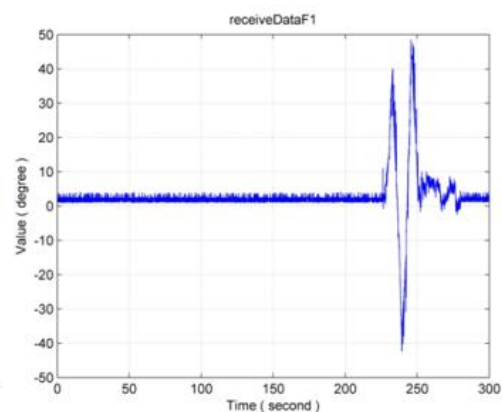
33



實驗測試樣本



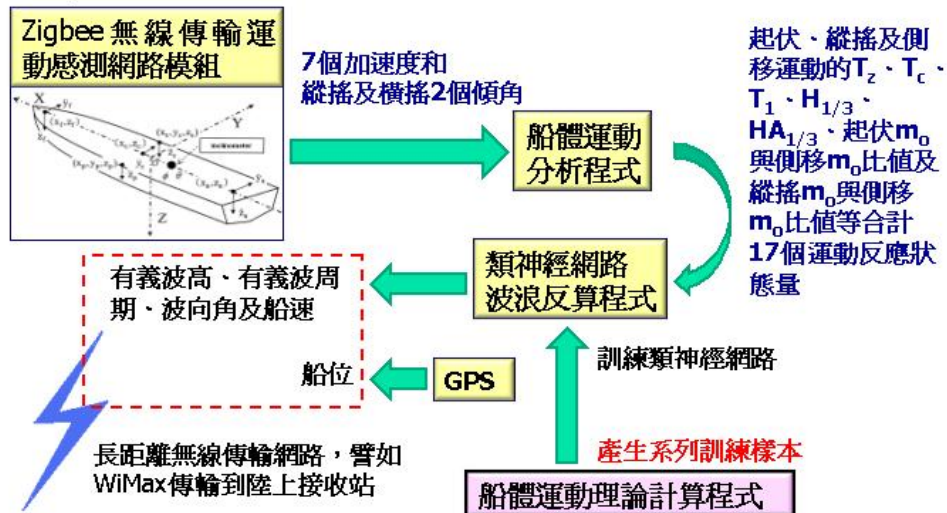
F端X軸(橫搖)傾角計測試樣本



F端y軸(縱搖)傾角計測試樣本

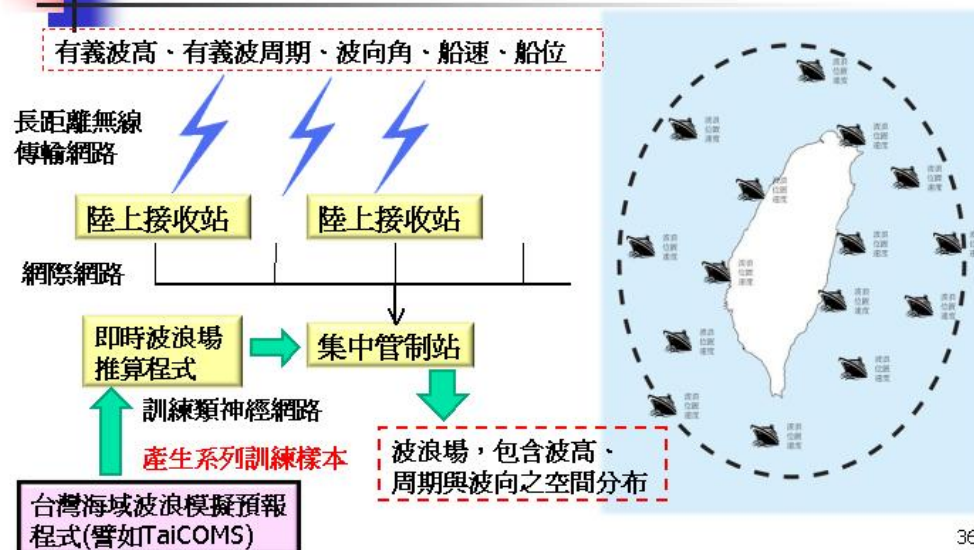
34

海巡船舶運動推算台灣海域即時波浪場之系統雛形規劃 (船載系統)



35

海巡船舶運動推算台灣海域即時波浪場之系統雛形規劃 (陸上管制站系統)



36

A decorative graphic consisting of overlapping yellow, red, and blue squares with a black crosshair.

結論

1. 本期研究探討資料密度對於即時波浪場推估類神經網路訓練上的效應，確認以12小時間隔的資料應已足夠。
2. 依據台灣海域即時波浪場推估模擬之流程規劃，完成船體運動模擬程式的開發與模擬計算，並進行波浪反算模擬以及即時波浪場重建模擬，模擬結果顯示此系統的可行性。
3. 本研究已完成船載運動量測系統六個感測器共九個量測頻道依序以100Hz取樣頻率透過Zigbee無線傳輸方式傳回可攜式電腦端之測試，確認此系統可充分掌握船體運動之動態反應。
4. 本研究統整四年期各關鍵技術研發的成果，提出了海巡船舶運動推算台灣海域即時波浪場之系統雛形規劃，可作為未來實現開發與建置該系統的參考。