

96-71-7285
MOTC-IOT-95-H2DB007

船舶運動推算臺灣海域即時波浪場 模式建立之研究(2/4)



交通部運輸研究所
中華民國 96 年 5 月

96-71-7285
MOTC-IOT-95-H2DB007

船舶運動推算臺灣海域即時波浪場 模式建立之研究(2/4)

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 96 年 5 月

96

船舶運動推算臺灣海域即時波浪場模式建立之研究
(2/4)

交通部運輸研究所

GPN : 1009601195
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. (2/4) / 邱永芳等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研所，民 96

面：公分

參考書目：面

ISBN 978-986-00-9734-4(平裝)

1. 波動 - 臺灣 - 自動化 2. 船舶工程

351. 941029

96009011

船舶運動推算臺灣海域即時波浪場模式建立之研究 (2/4)

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：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 5 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：1009601195

ISBN：978-986-00-9734-4 (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(2/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN: 978-986-00-9734-4 (平裝)	政府出版品統一編號 1009601195	運輸研究所出版品編號 96-71-7285	計畫編號 95-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、廖慶堂 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、林重義、郭名峰、蔡旻育 地址：臺北市羅斯福路4段1號 聯絡電話：02-33665761		研究期間 自 95 年 03 月 至 95 年 11 月
關鍵詞：船舶運動；波浪；臺灣			
摘要： <p>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。</p> <p>本研究以四年為期，依序進行下述步驟：94 年度(上一年度)執行波浪反算分析方法及程式之研發；95 年度（本年度）進行無線式船舶運動量測模組之研發；96 年度進行台灣海域波浪全貌分析方法及程式之研發；97 年度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。94 年度(上一年度)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有義波高、週期及波向之有效工具。而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，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。本期研究預期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。</p> <p>應用本研究四年期完成後所建立的核心技術，配合利用遍佈台灣海域值勤的海巡船舶運動，進行台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。而且在船舶運動量測分析上，發展無線式模組技術，在工程應用上應頗具實用價值。</p> <p>95 年度（本年度）期末報告說明加速度感測、傾角感測，以及無線傳輸模組之規劃、系統建構及其測試。</p>			
出版日期	頁數	工本費	本 出 版 品 取 得 方 式
96 年 5 月	76	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： 密 機密 極機密 絕對機密 （解密【限】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 an Evaluation Wave Field Model based on Ship Motions for the Sea Areas around Taiwan (2/4)			
ISBN (OR ISSN) 978-986-00-9734-4 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009601195	IOT SERIAL NUMBER 96-71-7285	PROJECT NUMBER 95-H2DB007
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yuang-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yuang-fang PROJECT STAFF: TsaiChin-chi; Liaw Ching-tarn PHONE: +886-4-26587221 FAX: +886-4-26571329			PROJECT PERIOD FROM March 2006 TO November 2006
RESEARCH AGENCY: NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Forng-chen PROJECT STAFF: Guo Jen-hwa; Lin Chung-I, Kuo Ming-feng; Tsai Min-yu ADDRESS: No.1, Sec. 4, Roosevelt Road, Taipei 106, Taiwan, R.O.C PHONE: +886-2-33665761			
KEY WORDS: Ship Motions; Waves; Taiwan			
<p>ABSTRACT</p> <p>The purpose of this research project is to develop a model that can be used to evaluate wave field based on ship motions, and to study the feasibility of setting up a ship-bone wave monitoring system for the sea area around Taiwan. Besides, the related key technologies will be also developed in this project of four years term.</p> <p>First, in the 1st year (FY94), the method and computer program to evaluate wave field based on ship motions are developed. Second, in the 2nd year (FY95), wireless module for ship motions measurement is developed. Third, in the 3rd year (FY96), the method and computer program to evaluate the overall wave field of the sea areas around Taiwan based on the ship motions data of a fleet will be developed. Finally, in the 4th year (FY97), the planning as well as simulation for the ship-bone wave monitoring system for the sea area around Taiwan by using the fleet of Taiwan Coast Guard will be followed.</p> <p>In the last year (FY94), a neural networks model has been developed to evaluate the significant wave height, period and direction based on ship motions. In this year (FY95), 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 developed. Third, statistics and motions analysis module is conducted. Finally, the developed wireless ship motions measurement sub-system is tested and evaluated. The success of this sub-system makes it feasible to install these sub-systems on the fleet of Taiwan Coast Guard and becomes a key technology of hardware in this research project.</p> <p>In the present final report, we focus on the planning, set up and tests of motion sensors including accelerometers and inclinometers as well as wireless modules.</p>			
DATE OF PUBLICATION May 2007	NUMBER OF PAGES 76	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
1.1 計畫背景	1
1.2 研究範圍與對象	2
1.3 研究內容與工作項目	2
1.4 文獻回顧	2
1.5 研究方法及進行步驟	4
1.6 預期成果	4
第二章 無線式船舶運動量測模組規劃	7
2.1 無線感測區域網路(WSAN)	7
2.2 三種無線傳輸技術規格之比較	8
2.3 模組元件與規格	10
2.3.1 加速度感測器	13
2.3.2 傾角感測器	15
2.3.3 資料擷取卡	16
2.3.4 資料傳輸	17

2.3.5 資料接收與轉換	19
第三章 感測器及無線傳輸模組測試	23
3.1 以射頻 RF 無線傳輸元件測試	23
3.2 以 Zigbee 無線傳輸元件測試	25
3.3 傾角計校正測試	28
3.4 加速度計校正測試	28
3.5 提升無線傳輸取樣頻率之對策	29
第四章 結論	31
參考文獻	33
附錄一 參考文獻[15]	35
附錄二 期中報告審查意見處理情形表	45
附錄三 期末報告審查意見處理情形表	49
附錄四 期中簡報資料	53
附錄五 期末簡報資料	63

圖目錄

圖 1 無線感測網路 WSN(Wireless Sensor Network)架構圖	8
圖 2 802.11b、Bluetooth 與 ZigBee 三者比較	8
圖 3 IEEE802.15.4/Zigbee 應用產品標準架構	10
圖 4 感測器模組佈建位置示意圖	11
圖 5 CXL-LP 系列尺寸圖	14
圖 6 CXTA02 尺寸圖	16
圖 7 MDA320CA 外觀圖	17
圖 8 MPR2400CA 外觀圖	19
圖 9 TinyOS 架構示意圖	19
圖 10 MIB520CA 外觀圖	20
圖 11 MIB520CA 接合 MICAz 以及 Sensor Board 的情形	21
圖 12 射頻 RF 無線傳輸元件含發射及接收元件	23
圖 13 Crossbow 加速度計及傾角計等感測器	24
圖 14 感測器與射頻 RF 無線傳輸發射元件之接合情形	24
圖 15 射頻 RF 無線傳輸接收元件與電腦接合之情形	24
圖 16 以 windows 內建超級終端機擷取得到之訊號	25
圖 17 Crossbow 所附光碟，包含 TinyOS、硬體驅動程式及監控軟體	26
圖 18 TinyOS 的介面 cygwin	26

圖 19 MoteView 主程式介面	27
圖 20 MoteConfig 程式介面	27
圖 21 傾角計之縱搖角校正結果	28
圖 22 傳輸取樣頻率測試	30

表目錄

表 1	模組元件類別表	11
表 2	配置位置及功能表	12
表 3	CXL04LP1 & CXL04LP3 量測資訊表	13
表 4	CXL04LP1 & CXL04LP3 規格表	14
表 5	CXTA02 量測資訊表	15
表 6	CXTA02 規格表	15
表 7	MPR2400CA 規格表	18
表 8	MIB520CA 規格表	20

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。

本計畫於上一年度第一期計畫中(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有義波高、週期及波向之有效工具。因此，在此基礎上其後續研發工作即應在於建立便於安裝及使用之船舶運動量測模組，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。

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。

本期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。其主要研究內容與工作項目如下述。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。

1.3 研究內容與工作項目

94 年度(上一年度) 已完成船體運動進行波浪反算之類神經網路模式建構，而 95 年度(即本年度)將執行無線式船舶運動量測模組之研發，其主要工作項目如下：

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

96 年度將進行臺灣海域波浪全貌分析方法及程式之研發。

97 年度則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。

本期（95 年度）報告將說明加速度感測、傾角感測，以及無線傳輸模組之規劃、系統建構及其測試。

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，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[15]，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，因此本研究所欲研發之無線式船體運動量測模組技術應具有相當之創新性。

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(上一年度)已執行波浪反算分析方法及程式之研發;

95 年度(即本年度)進行無線式船舶運動量測模組之研發;

96 年度將進行臺灣海域波浪全貌分析方法及程式之研發;

97 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

而 95 年度(即本年度)執行無線式船舶運動量測模組之研發，其施行步驟與方法如下：

1. 加速度感測及無線傳輸模組建構：本研究將研析開立規格，並盡力尋求符合規格需求之市售標準元件包含加速度感測、訊號處理及無線傳輸等，必要時才自行開發委外製作，再行整合。
2. 橫搖角、縱搖角感測及無線傳輸模組建構：同樣，本研究將研析開立規格，並盡力尋求符合規格需求之市售標準元件包含傾角感測、訊號處理及無線傳輸等，必要時自行開發委外製作，再行整合。
3. 船舶運動演算及統計分析模組建構：本研究將依循主持人於參考文獻[15]所示之感測器布置及船體運動分析方法自行開發委外製作。
4. 系統驗證與評估：本研究將在實驗室模擬船體任意運動，以測試所建構之無線式船舶運動量測模組在量測分析船體運動上之精度，以確認此一無線式船舶運動量測模組之有效性。

本期（95 年度）報告將就加速度感測、傾角感測，及其無線傳輸模組之規劃，建構及測試予以說明。

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：預期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：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，因此本期研究所欲研發之無線式船體運動量測模組技術應具有相當之創新與挑戰性。

第二章 無線式船舶運動量測模組規劃

2.1 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 1 所示：

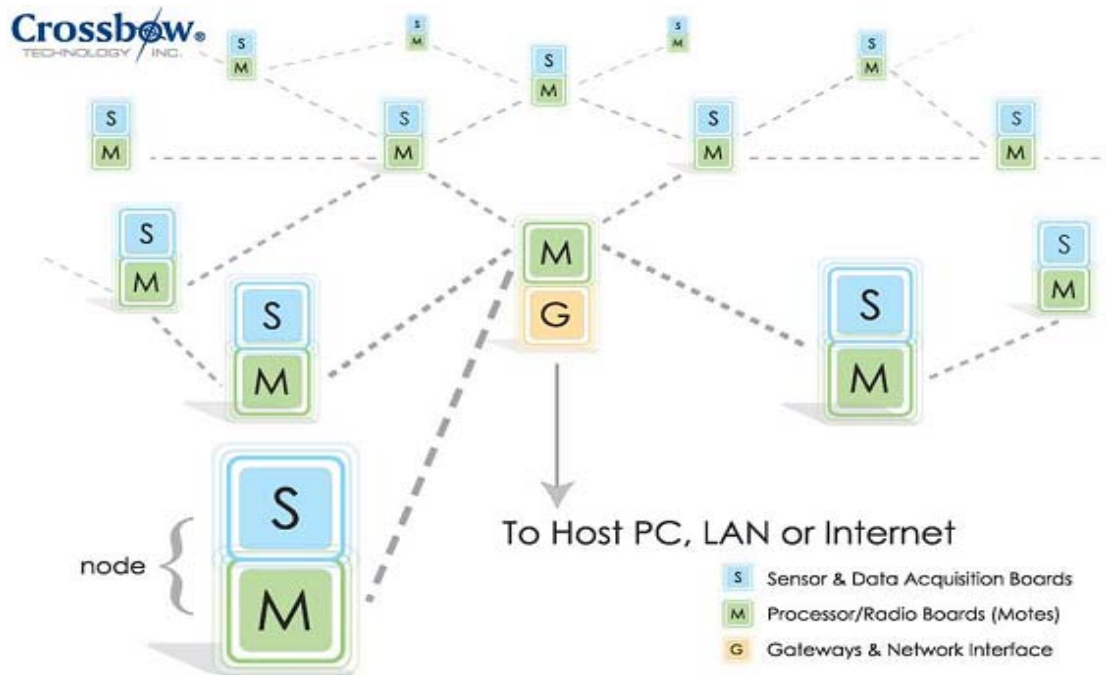


圖 1 無線感測網路 WSN(Wireless Sensor Network) 架構圖

(圖片來源：<http://www.xbow.com>)

2.2 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 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 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。

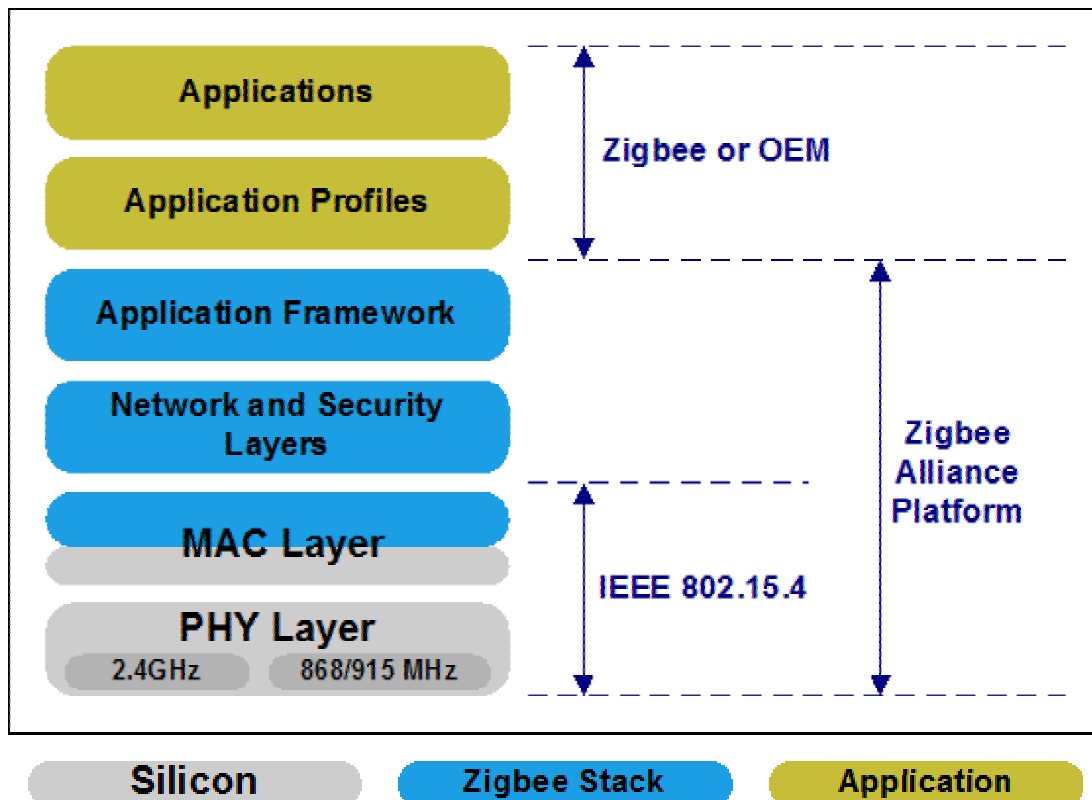


圖 3 IEEE802.15.4/Zigbee 應用產品標準架構

(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 3 所示即是 Zigbee 應用產品的標準架構。

2.3 模組元件與規格

在模組元件上，我們選用了 Crossbow 所生產的 Sensor、DAQ

Board Mote 及 Gate。每一節點為 S (Sensor & DAQ Board) + M (Mote) 所構成，最後再由 Gate 統一整合並以 USB 介面傳送至電腦主機。其系統架構即如前述圖 1 所示。

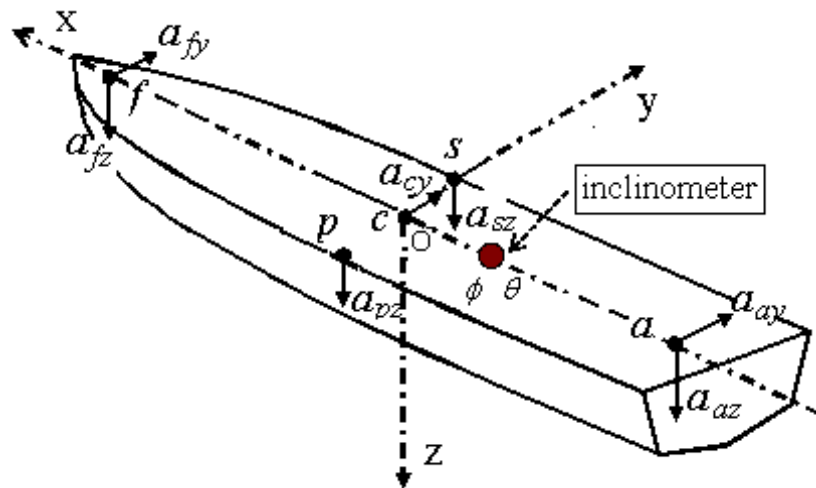


圖 4 感測器模組佈建位置示意圖

圖 4 為感測器模組佈建位置示意圖，而規劃選用的 Sensor、DAQ Board、Mote、Gate 之元件型號如表 1 所示，而其配置位置及其功能則示於表 2。

類別	Crossbow 產品型號
Sensor	CXL04LP3
Sensor	CXL04LP1
Sensor	CXTA02
DAQ Board	MDA320CA
Mote	MPR2400CA
Gate	MIB520CA

表 1 模組元件類別表

位置	配置	量測	產品型號	特色	備註
f	艏	ay, az	CXL04LP3	3 軸 4g 加速度計	[S]
			MDA320CA	8 ch, 16 bit	[DAQ]
			MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] TinyOS
c	舢	ay	CXL04LP1	單軸 4g 加速度計	[S]
		ϕ, θ	CXTA02	雙軸傾角計	[S]
			MDA320CA	8 ch, 16 bit	[DAQ]
			MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] TinyOS
ρ	左舷	az	CXL04LP1	單軸 4g 加速度計	[S]
			MDA320CA	8 ch, 16 bit	[DAQ]
			MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] TinyOS
s	右舷	az	CXL04LP1	單軸 4g 加速度計	[S]
			MDA320CA	8 ch, 16 bit	[DAQ]
			MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] TinyOS
a	艉	ay, az	CXL04LP3	3 軸 4g 加速度計	[S]
			MDA320CA	8 ch, 16 bit	[DAQ]
			MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] TinyOS
	駕駛室		MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] Base Station
			MIB520CA	Baud rate:57.6k	[G] USB 介面
			PC or PDA		處理運動計算及波浪反算

表 2 配置位置及功能表

2.3.1 加速度感測器

Sensors : CXL04LP1 & CXL04LP3

這兩個 Sensor 皆是加速度計。差別在於所量測的維度數目，CXL04LP1 為單軸加速度計，CXL04LP3 則為三軸加速度計。其主要特性及規格分別示於表 3 及表 4。外觀尺寸則示於圖 5。

Model	Axes	Span (g)	Sensitivity (mV/g)	Noise (mg rms)	Bandwidth (Hz)
CXL04LP1	X	±4	900	10	DC-100
CXL04LP1Z	Z	±4	900	10	DC-100
CXL04LP3	TRI	±4	900	10	DC-100
CXL10LP1	X	±10	200	10	DC-100
CXL10LP1Z	Z	±10	200	10	DC-100
CXL10LP3	TRI	±10	200	10	DC-100
CXL25LP1	X	±25	80	10	DC-100
CXL25LP1Z	Z	±25	80	10	DC-100
CXL25LP3	TRI	±25	80	10	DC-100
OPTIONS					
-R	Voltage Regulator, 8 – 30 VDC input				
-AL	High Temperature Package (see package drawing above)				

表 3 CXL04LP1 & CXL04LP3 量測資訊表

(來源：<http://www.xbow.com>)

Specifications	CXL04LP1 CXL04LP1Z CXL04LP3	Electrical	
		Supply Voltage (Volts)	+ 5.0
Performance		Supply Voltage -R option (VDC)	+ 8.0 to 30
		Supply Current (mA)	5/axis
		Zero g Output (Volts)	+ 2.5 ± 0.1
		Span Output (Volts)	± 2.0 ± 0.1
		Output Loading	> 10 kΩ, < 1 nF
		Physical	
Environment		Standard package	
		Size (in)	0.78 x 1.75 x 1.07
		(cm)	1.98 x 4.45 x 2.72
		Weight	1.62 oz (46 gm)
		Aluminum package	
		Size (in)	0.95 x 2.00 x 1.20
		(cm)	2.41 x 5.08 x 3.05
		Weight	2.40 oz (68 gm)

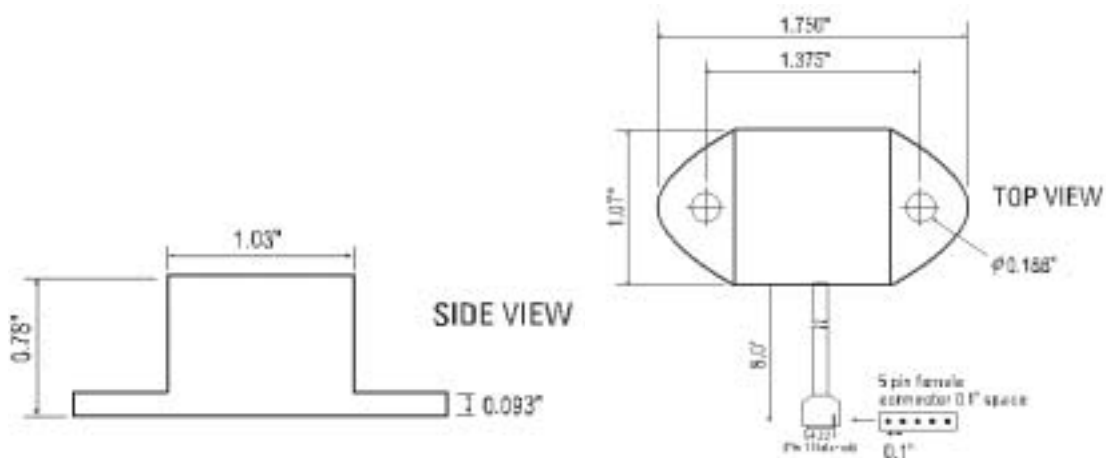
表 4 CXL04LP1 & CXL04LP3 規格表

(來源 : <http://www.xbow.com>)



圖 5 CXL-LP 系列尺寸圖

(圖片來源 : <http://www.xbow.com>)



2.3.2 傾角感測器

Sensor: CXTA02

此 Sensor 為雙軸傾角計，用於量測橫搖角 及縱搖角 。量測資訊及規格分別示於表 5 及表 6。外觀尺寸則示於圖 6。

Model	Axes	Linear Range	Full Range	Resolution
CXTA01	X	$\pm 20^\circ$	$\pm 75^\circ$	0.05°
CXTA02	X,Y	$\pm 20^\circ$	$\pm 75^\circ$	0.05°
OPTIONS				
-T	Temperature Sensor Internal			
-AL	High Temperature Aluminum Package			

表 5 CXTA02 量測資訊表

(來源：<http://www.xbow.com>)

Specifications	CXTA01	CXTA02	Remarks
Performance			
Linear Angular Range ($^\circ$)	± 20	± 20	
Full Angular Range ($^\circ$)	± 75	± 75	
Angular Resolution ($^\circ$ rms)	0.05	0.05	
Sensitivity - small angles (mV/ $^\circ$)	35 ± 2	35 ± 2	Actual value provided with Sensor
Sensitivity Drift (%/ $^\circ$ C)	0.01	0.01	
Zero Angle Voltage (Volts)	2.5 ± 0.15	2.5 ± 0.15	Actual value provided with Sensor
Zero Angle Drift (mV/ $^\circ$ C)	1.0	1.0	Typical
Zero Angle Drift ($^\circ$ /C)	0.03	0.03	Typical
Non-Linearity ($^\circ$)	< 0.4	< 0.4	Over $\pm 20^\circ$ not including Arcsine Error
Bandwidth (Hz)	50	50	
Settling Time (sec)	0.2	0.2	
Alignment ($^\circ$)	± 1	± 1	Typical
Cross-axis Sensitivity (%)	< 5	< 5	Inclusive of alignment error
Environment			
Storage Temperature ($^\circ$ C)	-55 to +85	-55 to +85	Nylon Package
Operating Temperature ($^\circ$ C)	-40 to +85	-40 to +85	Nylon Package
Storage Temperature ($^\circ$ C)	-55 to +105	-55 to +105	-AL High Temperature Package
Operating Temperature ($^\circ$ C)	-40 to +105	-40 to +105	-AL High Temperature Package
Non-Operating Vibration (g rms)	10	10	20-2 kHz random
Shock (g)	2000	2000	1 ms, half sine
Electrical			
Supply Voltage (VDC)	6 - 30	6 - 30	Unregulated
Current (mA)	4	8	
Physical			
Size (Nylon Package)	.78 x 1.75 x 1.07" (1.98 x 4.45 x 2.72 cm)		
(Aluminum Package)	.95 x 2.00 x 1.20" (2.41 x 5.08 x 3.05 cm)		
Weight (Nylon Package)	1.38 oz (43 gm)		
(Aluminum Package)	2.09 oz (65 gm)		

表 6 CXTA02 規格表

(來源：<http://www.xbow.com>)

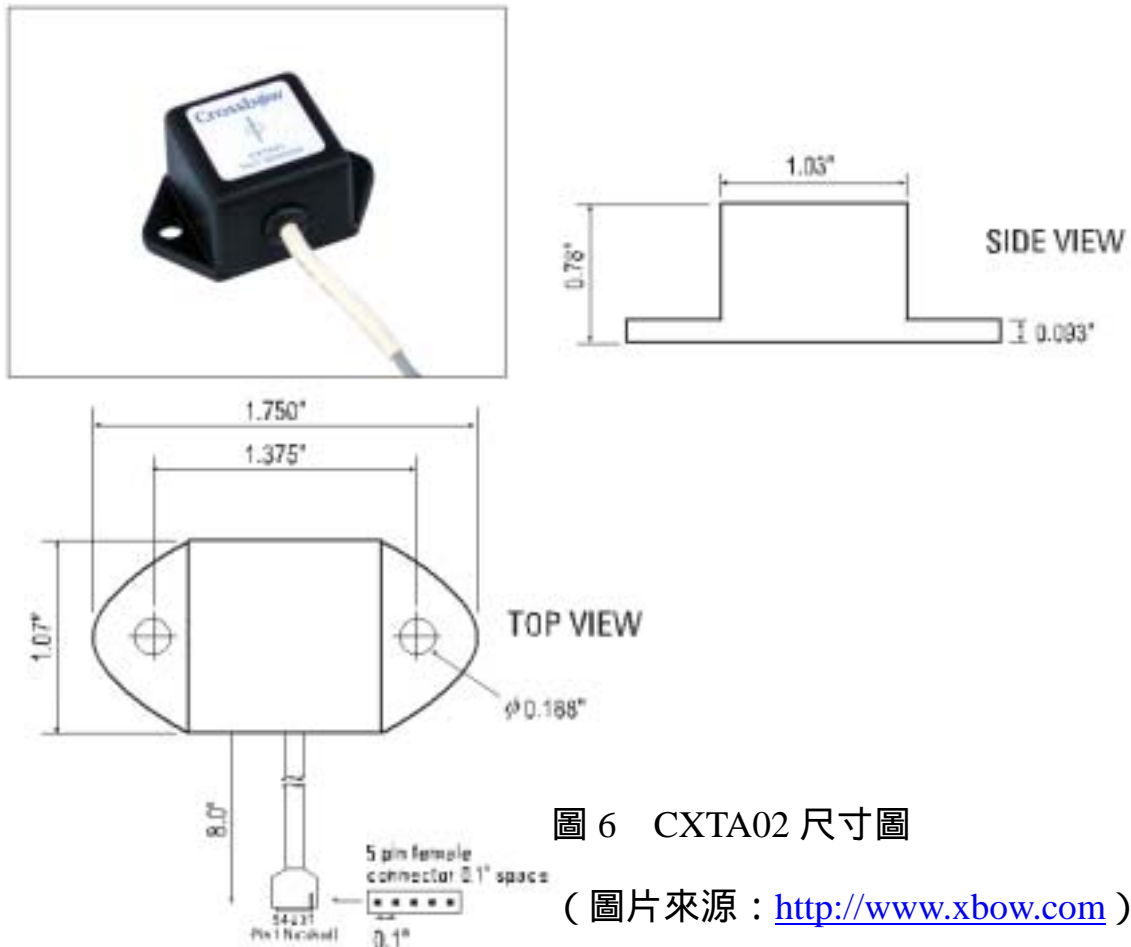


圖 6 CXTA02 尺寸圖

(圖片來源：<http://www.xbow.com>)

2.3.3 資料擷取卡

DAQ Board：MDA320CA，如圖 7 所示。

此資料擷取板有最多八個頻道及 16-bit 類比輸入，與 Sensor 提供使用者寬廣且便利的資料擷取介面。以下為其主要特性：

- 8 single-ended 0-2.5V inputs, or 4 differential 0-2.5V ADC channels
- 8 digital 0-2.5V I/O channels with event detection interrupt
- 2.5, 3.3, 5V battery sensor excitation and low-power mode
- 64K EEPROM for onboard sensor calibration data
- 200 Hz counter channel for wind speed, pulse frequencies

External I2C interface



圖 7 MDA320CA 外觀圖

(圖片來源：<http://www.xbow.com>)

2.3.4 資料傳輸

Mote：MPR2400CA，如圖 8 所示。

Mote 為這個無線感測網路的核心，具有省電、彈性、整合等特性。Mote 專案最初是美國加州柏克萊大學（University of California Berkeley，或簡稱：UC Berkeley）與 Intel 研究室所共同合作的研究。所發展出一個體積微小、自我管控、用電池運作的「電腦」，並且用無線通訊方式與其他裝置溝通，以及自行加入就近的無線網路（該無線網路為 ad hoc 型態）。而 MPR2400CA 即是這樣的產品，以 MICAz 為核心，搭載 TinyOS 這套開放原始碼的作業系統。這套作業系統本身就是為了無線嵌入式感測器網路而設計；不僅如此，TinyOS 也是套「元件型」的作業系統，依據嵌入應用可輕易增減控制執行的功能，且程式碼佔量極少，有助於記憶體空間的硬體資源精省，能夠同時執行多個要求快速回應的控制運作，而且本身即有電源管理程式，對於省電這方面，更是有效。而這套系統亦由美國加州柏克萊大學所研創。其架構示意圖如圖 9 所示。

MPR2400CA 的規格如表 7 所列：

Processor/Radio Board	MPR2400CA	Remarks
Processor Performance		
Program Flash Memory	128K bytes	
Measurement (Serial) Flash	512K bytes	> 100,000 Measurements
Configuration EEPROM	4K bytes	
Serial Communications	UART	0-3V transmission levels
Analog to Digital Converter	10 bit ADC	8 channel, 0-3V input
Other Interfaces	Digital I/O, I2C, SPI	
Current Draw	8 mA	Active mode
	< 15 μ A	Sleep mode
RF Transceiver		
Frequency band ¹	2400 MHz to 2483.5 MHz	ISM band, programmable in 1 MHz steps
Transmit (TX) data rate	250 kbps	
RF power	-24 dBm to 0 dBm	
Receive Sensitivity	-90 dBm (min), -94 dBm (typ)	
Adjacent channel rejection	47 dB	+ 5 MHz channel spacing
	38 dB	- 5 MHz channel spacing
Outdoor Range	75 m to 100 m	1/2 wave dipole antenna, LOS
Indoor Range	20 m to 30 m	1/2 wave dipole antenna
Current Draw	19.7 mA	Receive mode
	11 mA	TX, -10 dBm
	14 mA	TX, -5 dBm
	17.4 mA	TX, 0 dBm
	20 μ A	Idle mode, voltage regulator on
	1 μ A	Sleep mode, voltage regulator off
Electromechanical		
Battery	2X AA batteries	Attached pack
External Power	2.7 V - 3.3 V	Molex connector provided
User Interface	3 LEDs	Red, green and yellow
Size (in)	2.25 x 1.25 x 0.25	Excluding battery pack
(mm)	58 x 32 x 7	Excluding battery pack
Weight (oz)	0.7	Excluding batteries
(grams)	18	Excluding batteries
Expansion Connector	51-pin	All major I/O signals

表 7 MPR2400CA 規格表

(來源 : <http://www.xbow.com>)



圖 8 MPR2400CA 外觀圖

(圖片來源：<http://www.xbow.com>)

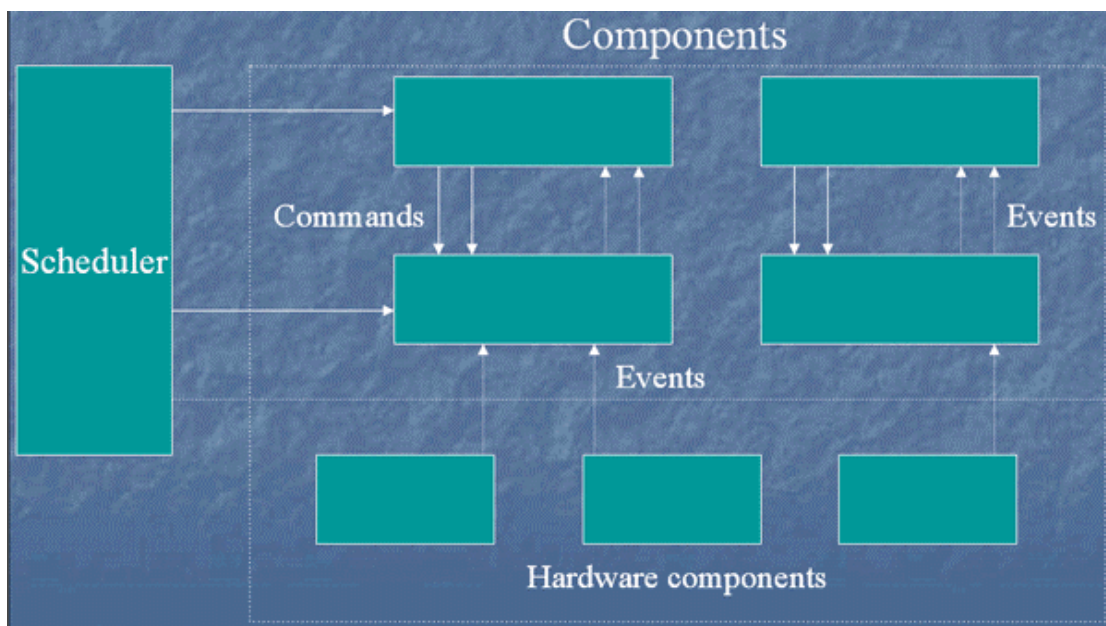


圖 9 TinyOS 架構示意圖

(圖片來源：www.cis.upenn.edu)

2.3.5 資料接收與轉換

Gate：MIB520CA，如圖 10 所示，其規格則述於表 8。

最後的 Gate 等同是無線感測網路的基地，作為將收集到的資料傳

送給電腦主機的介面。而 MIB520CA 是以 USB 做為傳輸介面。
MIB520CA 接合 MICAz 以及 Sensor Board 的情形如圖 11 所示。



圖 10 MIB520CA 外觀圖

MIB520CA Specifications:

USB Interface

- Baud Rate: 57.6 K
- Male to Male USB cable (included with unit)

Mote Interface

- Connectors: - 51-pin MICA2/MICAz
- Indicators: - MICA2/MICAz LED's: Red, Green, Yellow

Programming Interface

- Indicators: - LEDs - Power Ok (Green),

Programming in Progress (Red)

- Switch to reset the programming processor and Mote.
- MICA2DOT requires optional programming cable.

Jtag Interface

- Connector: 10-pin male header

POWER

- USB Bus powered

MIB520CA with MICAz and Sensor Board
ISP uPMoteSensor Board
USB Port

表 8 MIB520CA 規格表 (來源 : <http://www.xbow.com>)



圖 11 MIB520CA 接合 MICAz 以及 Sensor Board 的情形
(圖片來源：<http://www.xbow.com>)

第三章 感測器及無線傳輸模組測試

3.1 以射頻 RF 無線傳輸元件測試

本研究在使用 Zigbee 之前，先以臺灣大學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 12 及圖 13 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 14 所示，而接收元件與電腦接合的情形則如圖 15 所示。



圖 12 射頻 RF 無線傳輸元件含發射及接收元件



圖 13 Crossbow 加速度計及傾角計等感測器



圖 14 感測器與射頻 RF 無線傳輸發射元件之接合情形



圖 15 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 16 所示。

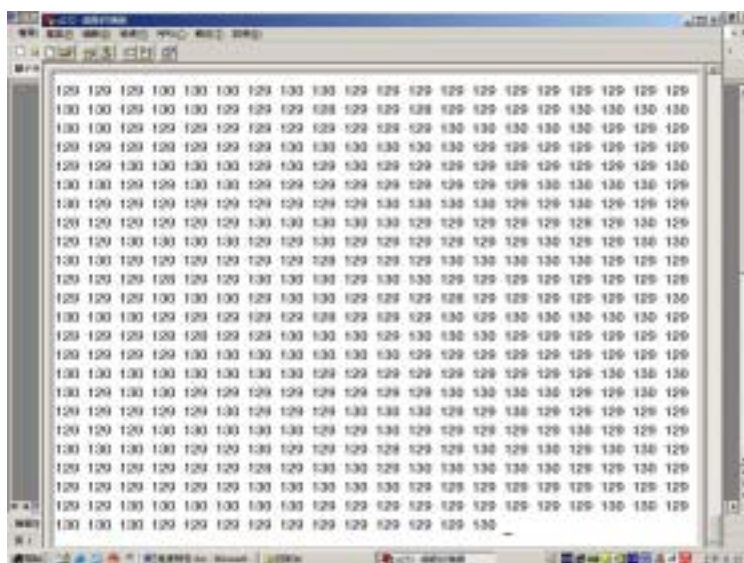


圖 16 以 windows 內建超級終端機擷取得到之訊號

於是經確認，以臺灣大學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。

3.2 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 17 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 18 所示即為 TinyOS 的介面 cygwin。



圖 17 Crossbow 所附光碟，包含 TinyOS、硬體驅動程式及監控軟體

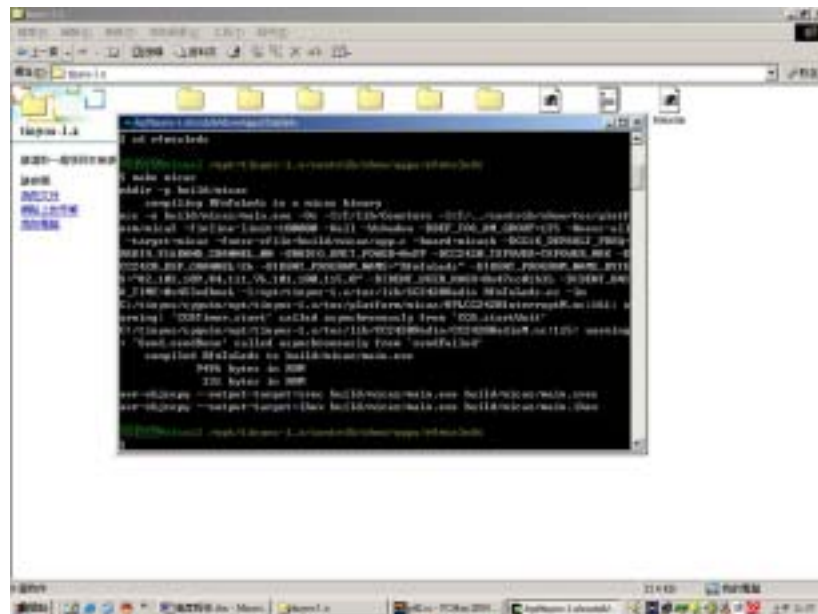


圖 18 TinyOS 的介面 cygwin

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 19 所示就是 MoteView 的主程式介面。而圖 20 所示則是 MoteConfig 程式介面，可用此程式對 mote 做韌體安裝的動作。

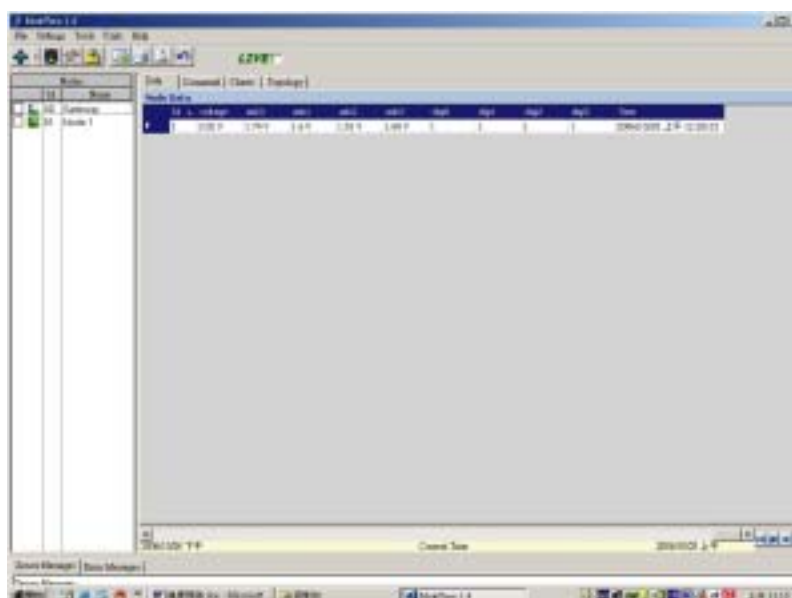


圖 19 MoteView 主程式介面

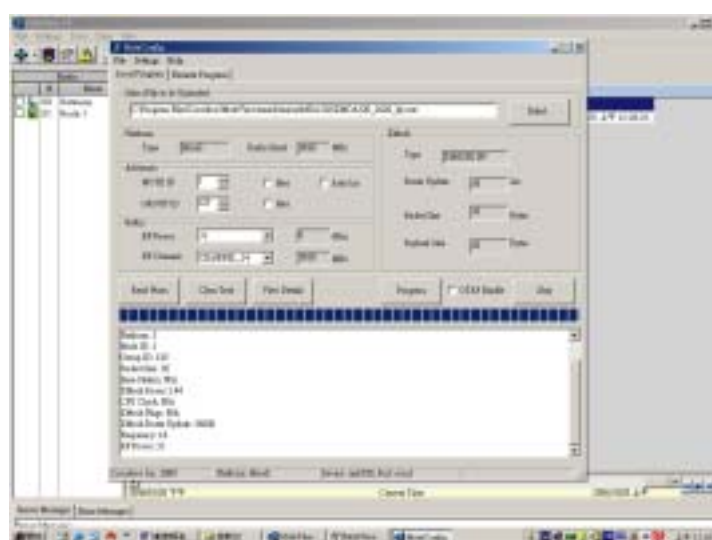


圖 20 MoteConfig 程式介面

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。

3.3 傾角計校正測試

依據本傾角計之規格說明，其於正負 20 度之內為線性，故本研究定量校正測試亦先以此為限。測試資料皆透過 MoteView 取得。以縱搖角(pitch)方向為例，其結果如圖 21 所示。由圖中可知，在正負 20 度之間的確為線性。而角度每增加五度，電壓即增加 0.118V，相當於角度每變化一度，電壓即改變 0.0236 V，亦即敏感度(sensitivity)為 23.6mV° ，而零度角電壓(zero angle voltage)則為 1.602V。原廠所提供的 datasheet 中，所用的電壓為 6~30V；但用在 mote 上時，我們實際所能用的電壓最大為 3.3V，因此，本研究需自行作校正，並於實際應用時予以採用。

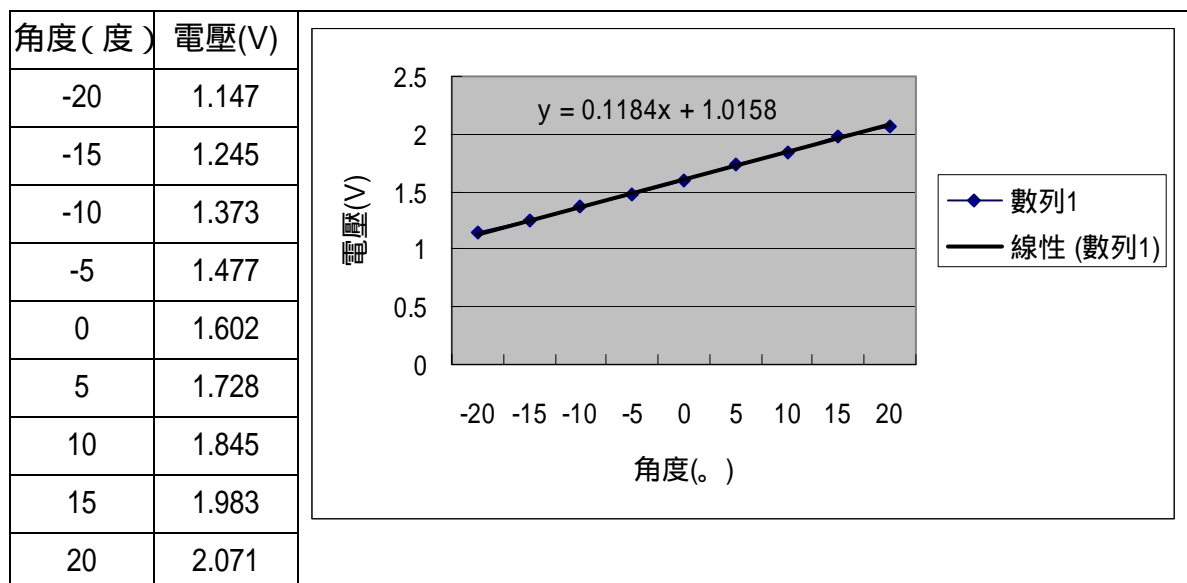


圖 21 傾角計之縱搖角校正結果

3.4 加速度計校正測試

本研究利用重力加速度 G 進行校正，於加速度計正放時得電壓 1.887V，而於倒放時得電壓 1.359V，二者之間 $2G$ 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。同樣，原廠所提供的 datasheet 中，所用的電壓為 5V；但用在 mote 上時，我們實際所能用的電壓最大為 3.3V，因此，本研究需自行作校正，並於實際應用時予以採用。

3.5 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 22 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。

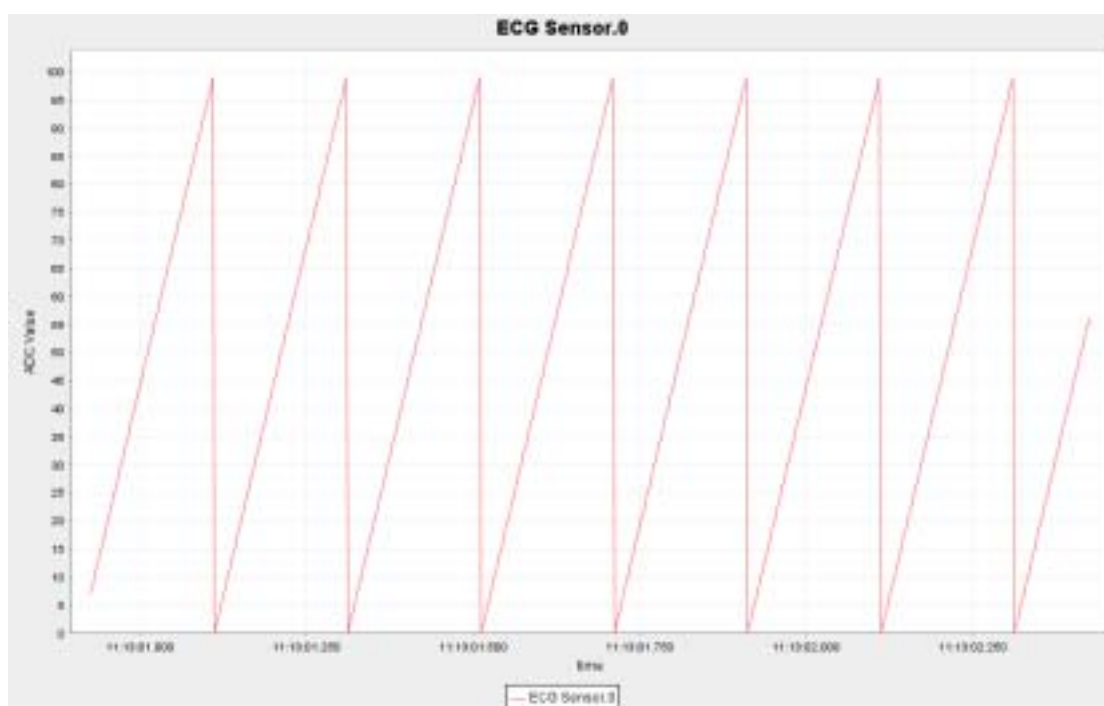


圖 22 傳輸取樣頻率測試

第四章 結論

本期研究完成下列工作：

1. 完成無線式船舶運動量測模組整體規劃，決定選用 IEEE802.15.4 /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。
2. 為進行第一階段測試，本研究已先行利用 Sensor + DAQ board + Mote 兩組及一個 Gate 進行測試。兩組 Sensor 分別為三軸加速度計 CXL04LP3 及雙軸傾角計 CXTA02，而 DAQ Board 為 MDA320，Mote 為 MPR2400CA，Gate 為 USB 介面的 MIB520。
3. 完成以臺灣大學光機電實驗室所發展的射頻 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。
4. 完成傾角計及加速度計之校正。

本研究後續將進行無線傳輸取樣頻率之提升，並依循主持人於參考文獻[15]所示之感測器布置及船體運動分析方法（詳附錄一）進行系統驗證與評估。並在實驗室模擬船體任意運動，以測試所建構之無線式船舶運動量測模組在量測分析船體運動上之精度，以確認此一無線式船舶運動量測模組之有效性。

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] 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
- [16] <http://www.chipcon.com/>
- [17] 黃繼德“無線感測器網路之公分等級距離量測--High Precision Distance Measurement in Wireless Sensor Network ”，國立臺灣大學應用力學研究所碩士論文，2006 年 7 月

附錄一 參考文獻[15]

Development of a Simple System to measure 5 DOF Ship Motions in a Seaway

Forng-Chen Chiu Sao-Wei Liu Wen-Chuan Tiao Jenhwa Guo
Department of Engineering Science and Ocean Engineering, National Taiwan University
No.1, Sec.4, Roosevelt Road, Taipei, Taiwan
fcchiu@ntu.edu.tw

ABSTRACT

This paper presents a simple system to measure five degree-of-freedom motions of real ships in a seaway. High cost gyro is not included in this measurement system. Seven accelerometers located at bow, stern and midship, as well as both sides of midship for sensing vertical or lateral accelerations, as well as a dual inclinometer for measuring roll and pitch angles are used in the present system, and the five degree-of-freedom ship motions with redundancy except surge can be derived. The arrangement of sensors and the algorithm to derive the motions at any specified position, such as center of gravity or other locations, are developed and the system is implemented.

In order to confirm the validity of the present measurement system, a simulated motions and sensors arrangement installed on a wood plank is tested as a bench test in laboratory. Then the system is applied to a high-speed patrol boat to measure its 5 DOF motions in a seaway. Through a series of sea trials, time histories, spectral moments and statistic characteristics of 5 DOF ship motions are analyzed, and the consistency as well as effectiveness of the present measurement system is discussed.

The response spectral moments of 5 DOF ship motions measured are not only indices for assessing the seakeeping performance of a ship, but also the important data sources that can be used to estimate the characteristics of ocean waves, such as the significant height, period as well as the principal direction by using a Neural Network Classifier based on its statistical learning and pattern recognition.

INTRODUCTION

Since ship motion theories have been well developed and can be used as practical tools to predict ship motions, it has become well known that a ship in a seaway can be regarded as a kind of wave sensing device. Up to the present, several methods have been proposed to convert measured ship motions data to the encountering wave characteristics. For example, Iseki etc. developed a method, using Bayesian Model, to estimate directional wave spectra from measured sway, heave, roll and pitch motions [1]. Yoshimoto and Watanabe proposed a parametric model basing on extended Maximum Likelihood Method to estimate directional wave spectra from measured relative wave surface elevation at 4 locations [2]. Hirayama etc. developed a hybrid type on-board measuring system including pitch, roll, vertical acceleration at bow, relative wave surface elevation at 3 locations and RADAR image to estimate directional wave spectra [3]. Maeda and Saito proposed a Nonlinear Programming Method to estimate directional wave spectra from measured heave acceleration and pitch [4]. All of these researches focused on solving the difficulty to determine wave spectra in following sea. Besides, Takaishi etc. proposed a simple method to estimate wave principal characteristics such as significant wave height, period and main direction by using measured data of relative wave surface elevations and vertical accelerations at 3 locations [5]. The purpose of Takaishi to develop an on-board wave estimating system and that of above-mentioned researches seem to be application to ship operation.

Several years ago, two of the authors, Chiu and Guo basing on the viewpoint to monitor the global wave field around Taiwan area by using the fleet of Coast Guard patrol boats as mobile sensor networks, developed a method to estimate wave significant height, period and principal direction using the response spectral moments of 5 DOF ship motions [6]. In that proposed method, a Neural Network Classifier [7] based on its statistical learning and pattern recognition is used. Its validity has been confirmed through numerical simulation [6], in which a Nonlinear Strip Method developed for predicting ship motions of high-speed vessels in oblique waves [8,9] is adopted. Therefore, to meet the goal of making the fleet of patrol boats become mobile sensor networks for wave measurement, it is necessary to develop a simple and low cost on-board system to measure 5 DOF ship motions for a real ship running in a seaway. In this paper, the formulation and implementation of the present simple system

will be described, and the discussion on the experimental results will be followed then.

1. FORMULATION

1.1 Kinematics of ship motions

A ship-fixed right hand Cartesian coordinate system $o-xyz$ used for the formulation is shown in Figure 1. The origin o may be located at arbitrary place of center plane. The translational and angular velocities of ship motions defined in the ship-fixed coordinate system are denoted as $\bar{v}_o \equiv (u, v, w)$ and $\bar{\omega} \equiv (p, q, r)$ respectively. Then, the velocity of arbitrary point at position $\bar{r} \equiv (x, y, z)$ can be expressed as $\bar{v} = \bar{v}_o + \bar{\omega} \times \bar{r}$. Similarly, if we denote the translational and angular accelerations of ship motions in the ship-fixed coordinate system as $\bar{a}_o \equiv (a_{ox}, a_{oy}, a_{oz})$ and $\bar{\dot{\omega}} \equiv (\dot{p}, \dot{q}, \dot{r})$, then the acceleration of arbitrary point at position \bar{r} can be expressed by

$$\bar{a} = \frac{d\bar{v}}{dt} = \bar{a}_o + \bar{\dot{\omega}} \times \bar{r} + \bar{\omega} \times (\bar{\omega} \times \bar{r}) \quad (1)$$

The components of \bar{a} can be derived as follows.

$$\begin{aligned} \bar{a} = & \bar{i}(a_{ox} + \dot{q}z - \dot{r}y + pqy - q^2x - r^2x + rqz) \\ & + \bar{j}(a_{oy} + \dot{r}x - \dot{p}z + rqz - r^2y - p^2y + pqx) \\ & + \bar{k}(a_{oz} + \dot{p}y - \dot{q}x + prx - p^2z - q^2z + qry) \end{aligned} \quad (2)$$

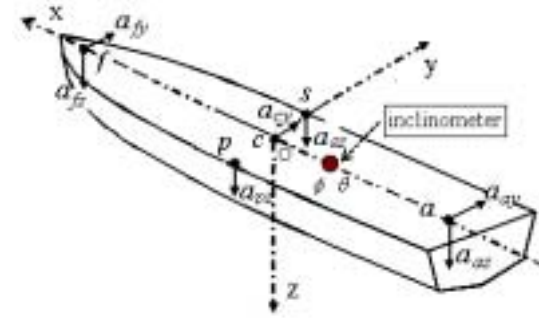


Fig.1 Coordinate system and sensors arrangement

The arrangement of sensors used in the present measuring system is also shown in Figure 1 with sign conventions. There are 7 accelerometer components and roll, pitch angles are measured for deriving 5 DOF ship motions with redundancy. Bow accelerometers located at position $f(x_f, y_f, z_f)$ in the center plane are used for

measuring vertical and transverse accelerations of point f , a_{fz} and a_{fy} , where $y_f = 0$ is chosen. Then the relationships between these bow acceleration components and ship motions, \ddot{a}_o and $\dot{\omega}$, are as follows:

$$a_{fz} = a_{oz} + (pr - \dot{q})x_f - (p^2 + q^2)z_f \quad (3)$$

$$a_{fy} = a_{oy} + (pq + \dot{r})x_f + (rq - \dot{p})z_f \quad (4)$$

Center accelerometer is located at the origin of the ship-fixed coordinate system to measure transverse acceleration a_{cy} of point $c(x_c, y_c, z_c)$, where $x_c = y_c = z_c = 0$ is chosen. Namely,

$$a_{cy} = a_{oy} \quad (5)$$

Stern accelerometers located at position $a(x_a, y_a, z_a)$ in the center plane are used for measuring vertical and transverse accelerations of point a , a_{az} and a_{ay} , where $y_a = 0$ as well as $x_a = -x_f$ are chosen. Then the relationships between these stern acceleration components and ship motions are as follows:

$$a_{az} = a_{oz} + (pr - \dot{q})x_f - (p^2 + q^2)z_a \quad (6)$$

$$a_{ay} = a_{oy} + (pq + \dot{r})x_a + (rq - \dot{p})z_a \quad (7)$$

Starboard accelerometer and port accelerometer are located in y-z plane to measure vertical accelerations of point $s(x_s, y_s, z_s)$ and point $p(x_p, y_p, z_p)$, a_{sz} and a_{pz} respectively, where $x_s = x_p = 0$, $y_p = -y_s$ as well as $z_p = z_s$ are chosen. Then the equations relating these acceleration components and ship motions can be given as follows:

$$a_{sz} = a_{oz} + (\dot{p} + qr)y_s - (p^2 + q^2)z_s \quad (8)$$

$$a_{pz} = a_{oz} + (\dot{p} + qr)y_p - (p^2 + q^2)z_p \quad (9)$$

Using above-stated relationships, the 5 DOF ship motions can be derived as follows in terms of measured data. By adding up equation (4) and equation (7), sway acceleration a_{oy} can be derived as

$$a_{oy} = \frac{a_{fy} + a_{ay}}{2} - \frac{(rq - \dot{p})(z_f + z_a)}{2} \quad (10)$$

By adding up equation (3) and equation (6), heave acceleration a_{oz} can be derived as

$$a_{oz} = \frac{a_{fz} + a_{az}}{2} + \frac{(p^2 + q^2)(z_f + z_a)}{2} \quad (11)$$

Similarly, heave acceleration a_{oz} can be also derived by adding up equation (8) and equation (9) as follows.

$$a_{oz} = \frac{a_{sz} + a_{pz}}{2} + (p^2 + q^2)z_p \quad (12)$$

On the contrary, subtracting equation (9) from equation (8), roll acceleration \dot{p} can be derived as

$$\dot{p} = \frac{a_{sz} - a_{pz}}{2y_s} - qr \quad (13)$$

Similarly, by subtracting equation (3) from equation (6), pitch acceleration \dot{q} can be derived as

$$\dot{q} = pr + \frac{a_{az} - a_{fz}}{2x_f} - \frac{(p^2 + q^2)(z_f - z_a)}{2x_f} \quad (14)$$

Furthermore, yaw acceleration \dot{r} can be derived by subtracting equation (7) from equation (4) as follows.

$$\dot{r} = \frac{a_{fy} - a_{ay}}{2x_f} - \frac{(rq - \dot{p})(z_f - z_a)}{2x_f} - pq \quad (15)$$

It can be found that in the present 5 DOF ship motions measurement system, sway, heave, pitch and roll motions are measured with redundancy. Both of direct measurement of a_{cy} , as shown in equation (5) and derived result by equation (10) give sway acceleration a_{oy} . Both of derived results by equation (11) and equation (12) give heave acceleration a_{oz} . In addition to roll and pitch motion sensed by inclinometer, equation (13)

gives also derived roll acceleration \dot{p} , and equation (14) gives derived pitch acceleration \dot{q} . However, yaw acceleration is simply derived from equation (15) without using a gyro to get direct measurement, since the cost of a gyro is relatively high. The algorithm to derive yaw motion using equation (15) from measured data is described in the following section.

1.2 Algorithm to derive yaw acceleration

Equation (15) can be rewritten as

$$\dot{r} = -r \frac{q(z_f - z_a)}{2x_f} + \frac{a_{fy} - a_{ay}}{2x_f} + \frac{\dot{p}(z_f - z_a)}{2x_f} - pq \quad (16)$$

Firstly, assuming the first term of right-hand side is relatively small and \dot{r} may be approximately calculated by following equation

$$\dot{r} \cong \frac{a_{fy} - a_{ay}}{2x_f} + \frac{\dot{p}(z_f - z_a)}{2x_f} - pq \quad (17)$$

Then the obtained \dot{r} is integrated to get yaw rate r , and substituted into the right-hand side of the exact equation (16) to obtain \dot{r} again. The newly obtained \dot{r} is then integrated again to obtain yaw rate r . These processes are repeated until yaw rate r is converged. p and q put into equation (17) are derived by taking differential of measured roll and pitch angle respectively. Nevertheless, high frequency numerical oscillation involved should be eliminated by a proper way, then the smoothened p and q can be introduced into equation (17).

1.3 Spectrum analysis and statistics

Firstly, the mean value is removed from each of measured time series of accelerations or angles. Then Above-stated derived accelerations of 5 DOF ship motions are calculated and analyzed by FFT to obtain the variance spectra in terms of encounter frequency which is notated as $S(\omega_e)$. Hanning window is applied for smoothing the spectra. Since the mean square value or variance of the random process is equal to the area under the curve of $S(\omega_e)$, we may write

$$m_4 = \int S(\omega_e) d\omega_e \quad (18)$$

where m_4 is the mean square value of acceleration. Thus the mean square value of velocity m_2 can be expressed as

$$m_2 = \int \omega_e^{-2} S(\omega_e) d\omega_e \quad (19)$$

, and the mean square value of displacement m_0 can be given by

$$m_0 = \int \omega_e^{-4} S(\omega_e) d\omega_e \quad (20)$$

Moreover, the first moment of displacement spectrum m_1 is given by

$$m_1 = \int \omega_e^{-3} S(\omega_e) d\omega_e \quad (21)$$

Provided that each of 5 DOF ship motions in a seaway is a stationary and ergodic random process of Gaussian probability density function with zero mean, and its probability density of extremes follows Rayleigh distribution, some statistics such as average zero-crossing period T_z , average peak-to-peak period T_c , spectral broadness parameter ε and significant double amplitude of displacement $h_{1/3}$, may be deduced as follows.

$$T_z = 2\pi \sqrt{m_0 / m_2} \quad (22)$$

$$T_c = 2\pi \sqrt{m_2 / m_4} \quad (23)$$

$$\varepsilon = \sqrt{1 - (T_c / T_z)^2} \quad (24)$$

$$h_{1/3} \approx 4.0 \sqrt{m_0} \quad \text{for } \varepsilon < 0.5 \quad (25)$$

2. MEASUREMENT SYSTEM

The present measurement system consists of sensors unit, signal conditioners, A/D card, potable PC and software. On the sensors unit, there are 7 accelerometer components and roll, pitch angles are measured under the arrangement shown as Fig.1. Kyowa AS-series accelerometers with response frequency range from DC to more than 40 Hz are installed. Crossbow CXTA02 tilt sensor of dual axis with bandwidth of 125 Hz is adopted. On signal conditioners, National Instrument DAQP-BRIDGE modules and

DAQP-V modules are introduced to amplify the accelerometers signals and the inclinometer signals respectively. To convert signals, 16 bits A/D card with maximum sampling rate of 2×10^5 Hz is used. However, in the present setting, sampling rate for each channel of signal is 100 Hz, which is considered enough to cover the frequency range of ship motion responses. For the convenience of field measurement, a DEWE-2010 portable PC is used, in which all the signal conditioners and A/D card are installed. The data acquisition and analysis software is programmed using NI Labview.

3. EXPERIMENTS

3.1 Bench test

Before carrying out the motion tests for a real ship in a seaway, we tested the present measurement system in laboratory to confirm the derived accelerations of 5 DOF ship motions can be calculated with consistency. The sensors arrangement is simulated to install on a wood plank with dimension of 75×42 cm as shown in Fig. 2. As an example, some results of derived accelerations of 5 DOF motions are shown in Fig. 3(a) through Fig.3(d), in which the board is given arbitrary random motions. It can be found that the consistency between derived results and direct measurements is verified. Furthermore, the acceleration of arbitrary position $\vec{r} = (x, y, z)$ can be calculated by Equation (2), provided that the 5 DOF motions are known. Therefore, some more comparisons with measured vertical accelerations at bow a_{fz} and that at port a_{pz} , and measured transverse acceleration at stern a_{ay} are also shown in Fig.4(a) through Fig.4(c) respectively to show the consistency.



Fig. 2 Sensors arrangement for bench test

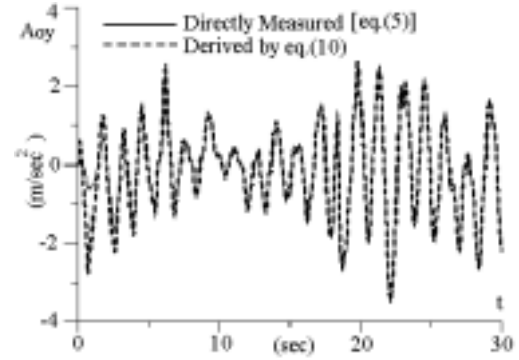


Fig. 3(a) Sway acceleration

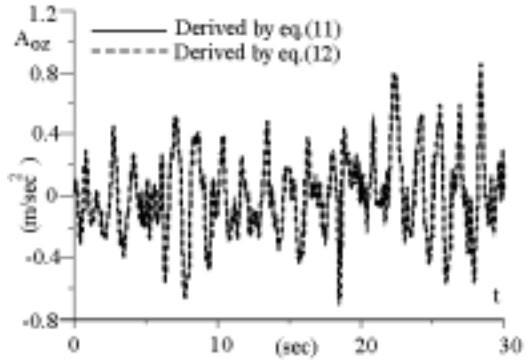


Fig. 3(b) Heave acceleration

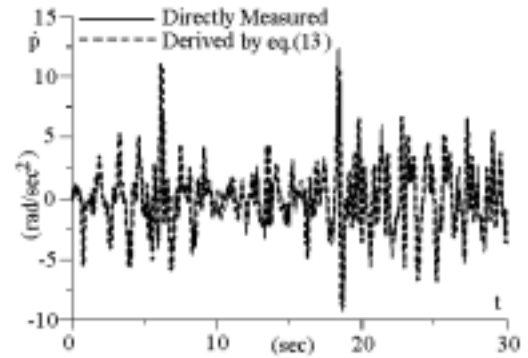


Fig. 3(c) Roll acceleration

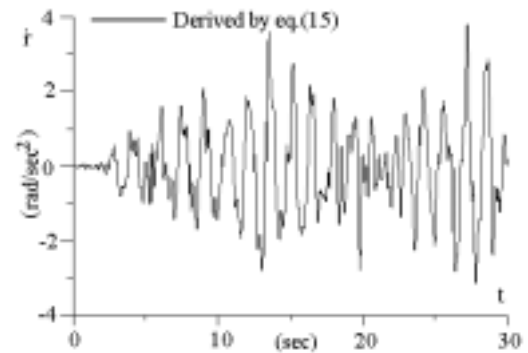


Fig. 3(d) Yaw acceleration

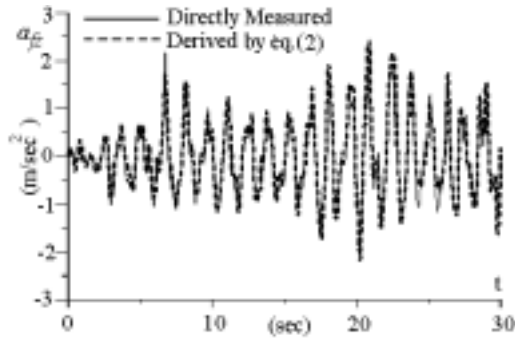


Fig. 4(a) Vertical acceleration at bow

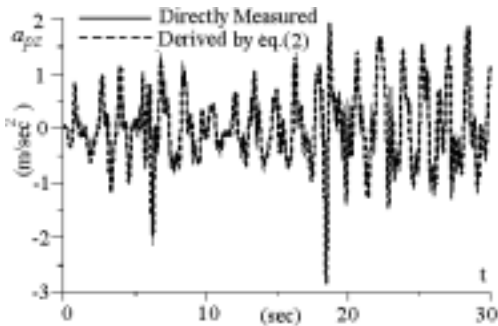


Fig. 4(b) Vertical acceleration at port

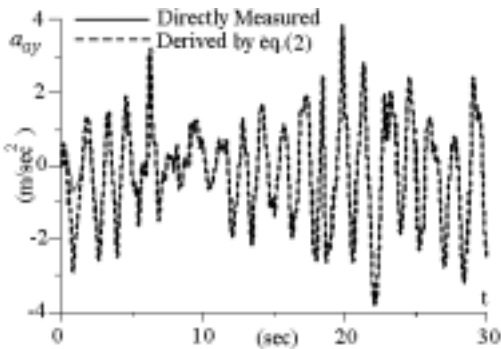


Fig. 4(c) Transverse acceleration at stern

Moreover, from Figure 4(c), the agreement between directly measured a_{ay} and derived time history by Equation (2) implies that yaw acceleration \dot{r} , shown in Figure 3(d) is derived accurately enough by Equation (15) following the algorithm stated in Section 1.2 .

3.2 Test in a seaway

A real ship tests at sea was conducted in May, 2002 using a 100 tons patrol boat which belongs to Taiwan Coast Guard. The site is in the offshore area north of Keelung City, about 1.5 nautical mile northwest away from Keelung Islet as shown in Figure 5. Sensors are all set on main deck. The coordinates of their locations are shown in Table 1. The center of gravity of the patrol boat is 1.5

meter beneath the origin. The motions of C.G. are just what we want to know in these tests. However, C.G. is a point that floats in the air and no sensor can be installed there to take direct measurement. It means that the motions of C.G. have to be obtained through conversion using Equation (2) from measured 5 DOF ship motions. An example of conversion has been illustrated in Figure 4 of Section 3.1 to show its validity.

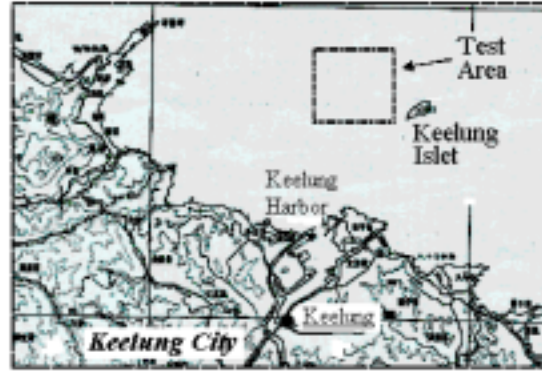


Fig.5 Location map of the test area for a real ship test

Table 1 Sensors arrangement

unit: meter	x	y	z
Dual inclinometer	0	0	0
Bow accelerators at "f"	14.4	0	-1.52
Center accelerator at "c"	0	0	0
Starboard accelerator at "s"	0	2.51	0
Port accelerator at "p"	0	-2.51	0
Stern accelerators at "a"	-14.4	0	0

In the real ship tests at sea, ship motions are measured at 3 different speeds, such as high speed of 28 knots, cruise speed of 21 knots and low speed of 8 knots approximately. The process of heading is shown in Figure 6. There is an interval of 45 degrees for the tests at low speed, 30 degrees for that at high speed or cruise speed. In the tests at low speed, 100 Hz sampling rate recording is continuous for 3 minutes while heading is steady. However, for those tests at high speed or cruise speed, 60 seconds records are taken. About the test procedure, at first, tests at low speed were carried out two times continuously and the results shown in the following figures are notated as "w1" and "w2"

respectively. Then, the tests at cruise speed and high speed were followed. Finally, the tests at low speed were conducted again. The visual sea state during the test is about Beaufort scale of 3.

As the bench test above-stated, the consistency between measured data and derived motions has also been confirmed. As an example, Figure 7(a) depicts derived yaw acceleration and Figure 7(b) depicts transverse bow accelerations obtained from both of direct measurement and derivation for a test at high speed. We can be convinced that the yaw acceleration is still accurately derived, because the two curves in Figure 7(b) agree very well as before.

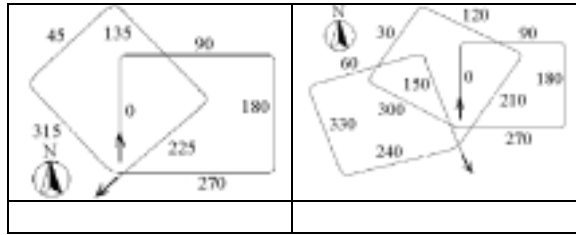


Fig.6 Process of heading (left: for low speed tests;
right: for high speed or cruise speed)

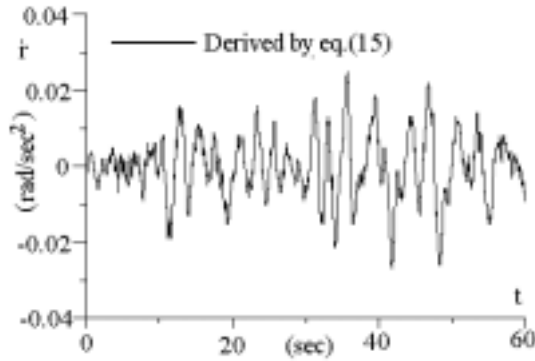


Fig.7(a) Yaw acceleration (at high speed)

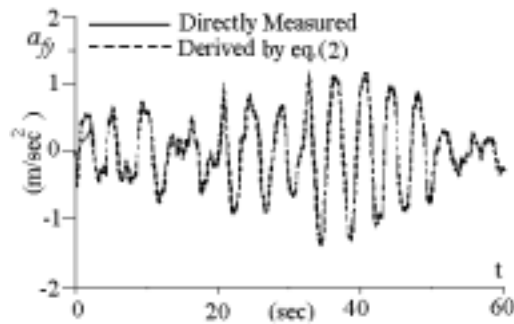


Fig.7(b) Transverse bow acceleration (at high speed)

Figure 8 through Figure 12 illustrate the heading

angle dependence of motion responses at C.G. of the two cases at low speed. In Figure 8, the significant double amplitude, mean zero-crossing period as well as spectral broadness parameter of transverse displacement of C.G. motion are plotted. Those of vertical displacement of C.G. motion are plotted in Figure 9. The significant double amplitude of roll, pitch and yaw are shown in Figure 10, Figure 11 and Figure 12 respectively. From these figures, it can be said that similar results between “w1” and “w2” were obtained except some discrepancies at the headings of

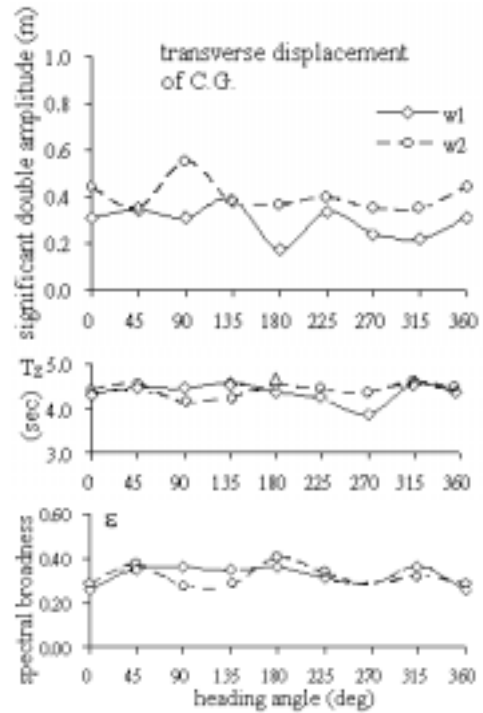
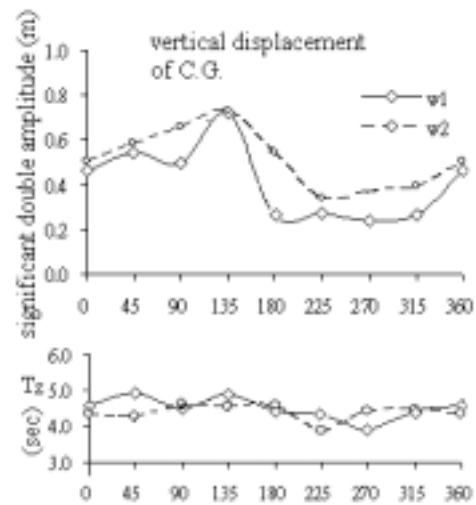


Fig.8 Transverse displacement of C.G. motion at low speed



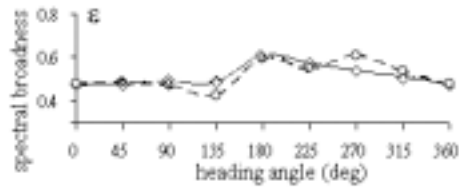


Fig.9 Vertical displacement of C.G. motion at low speed

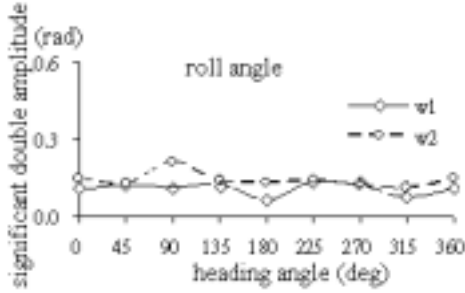


Fig.10 Roll angle at low speed

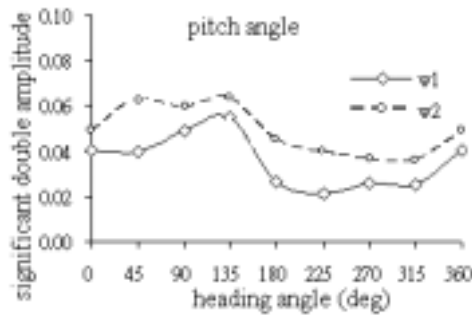


Fig.11 Pitch angle at low speed

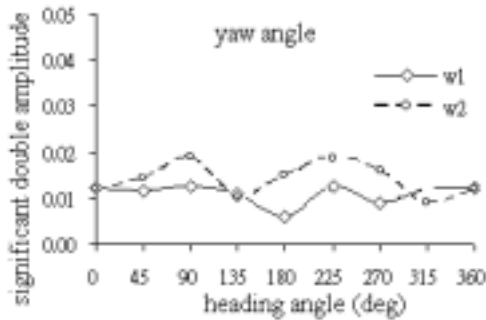


Fig.12 Yaw angle at low speed

90 and 180 degree. Measured significant double amplitudes of C.G. motions for the case of “w2”, whose measurement are conducted about one hour later, are somewhat larger than those of “w1”. This tendency coincides with the observation during the tests.

Figure 13 through Figure 17 illustrate the heading angle dependence of motion responses at C.G. of

the three cases at high speed, cruise speed and low speed. In Figure 13, the significant double amplitude, mean zero-crossing period as well as spectral broadness parameter of transverse displacement of C.G. motion are plotted. Those of vertical displacement of C.G. motion are plotted in Figure 14. The significant double amplitude of roll, pitch and yaw are shown in Figure 15, Figure 16 and Figure 17 respectively. In these figures, it can be found that the ship motions become more significant with increasing ship speed. It implies that reasonable measurement can be obtained by the present simple system for 5 DOF ship motions measurement. Furthermore, the variance of

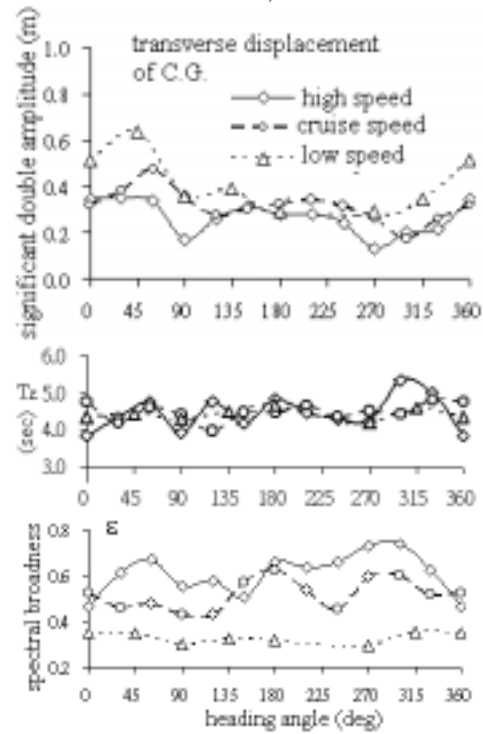
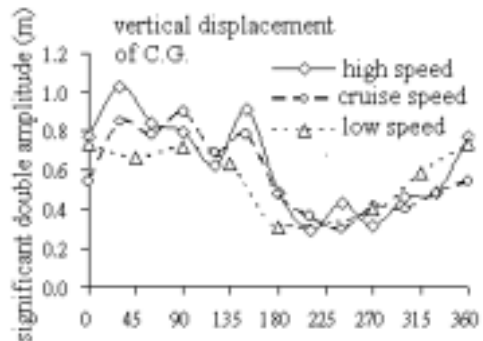


Fig.13 Transverse displacement of C.G. motion at 3 speeds



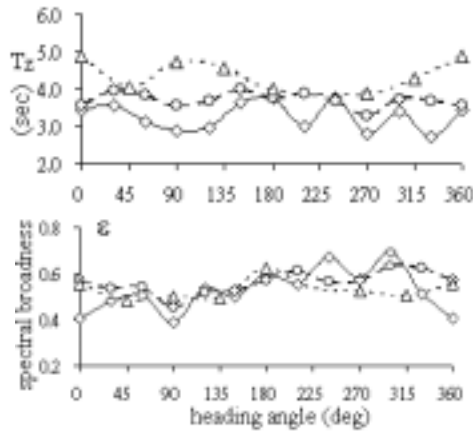


Fig.14 Vertical displacement of C.G. motion at 3 speeds

vertical bow acceleration, that is m_4 , is shown in Figure 18 to illustrate the ship speed dependence of vertical bow acceleration. As seen in this figure vertical bow acceleration becomes more pronounced at higher speed.

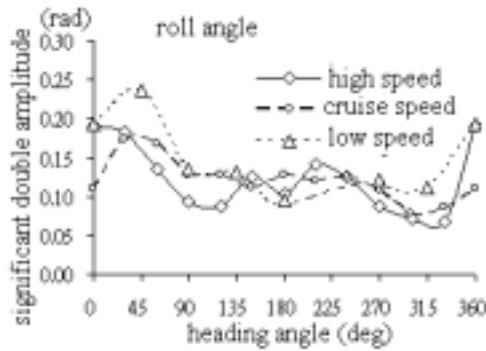


Fig.15 Roll angle at 3 speeds

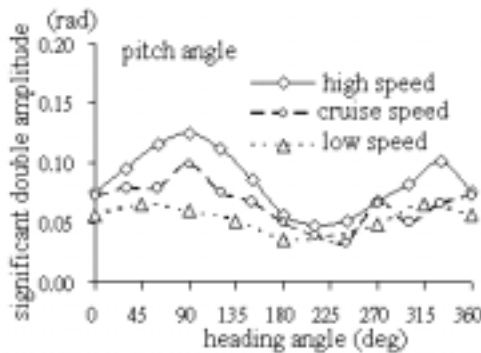


Fig.16 Pitch angle at 3 speeds

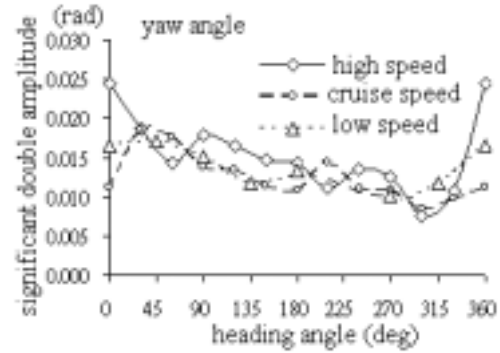


Fig.17 Yawl angle at 3 speeds

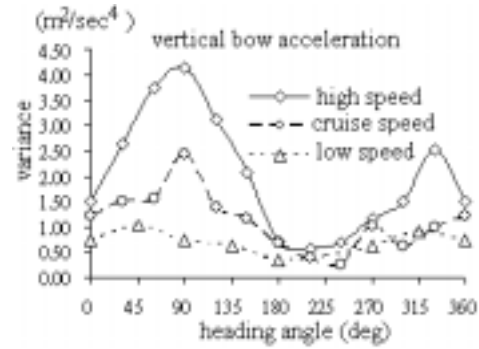


Fig.18 Variance of vertical bow acceleration at 3 speeds

4. CONCLUSIONS

A study was conducted to develop a simple system for measuring five degree-of-freedom motions of real ships in a seaway. Bench test in laboratory and a real ship test in a seaway using a patrol boat were carried out to provide a validation of the present system. From the investigation into the measurement, derivation and the verification of the consistency, the following conclusions may be drawn: The present simple system, in which relatively high cost gyro is not included, can provide reasonable measurement of 5 DOF ship motions in a seaway. The present study is just a step for developing an integrated system to monitor the global wave field around Taiwan area by using the fleet of Coast Guard patrol boats as mobile sensor networks

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to express their cordial thanks to Taiwan Coast Guard and all the officers and crew of PP-10001 boat for supporting the real ship tests.

REFERENCES

1. Iseki T., Ohtsu K., Fujino M., 1992, Bayesian estimation of directional wave spectra based on ship motions, *J. Soc. Nav. Archit. Jpn.*, 172, pp. 17-25. (in Japanese)
2. Yoshimoto H., Watanabe I., 1994, On the estimation of encounter directional wave spectra of a running ship, *J. Soc. Nav. Archit. Jpn.*, 176, pp. 107-116. (in Japanese)
3. Hirayama T., Minami K., Hiramatsu M., 1996, Development of hybrid type on board measuring system for directional wave spectrum, *J. Soc. Nav. Archit. Jpn.*, 180, pp. 295-309. (in Japanese)
4. Maeda K., Saito K., Akashi T., 2001, An estimation of ocean wave characteristics based on measured ship motions (4th report), *J. Soc. Nav. Archit. Jpn.*, 189, pp. 241-246. (in Japanese)
5. Takaishi Y., Masuda K., Ikoma T., Shimamura S., 2002, Development of a ship-borne wave recording system, *J. Soc. Nav. Archit. Jpn.*, 192, pp. 171-180. (in Japanese)
6. Chiu F., Guo J., 2000, *ship motions prediction and sea trials for a high-speed craft in a seaway*, Rept. to Naval Ship Development Center, 46 pp. (in Chinese)
7. Kohlas J., Monney P., 1995, *A Mathematical Theory of Hints : An Approach to the Dempster-Shafer Theory of Evidence*. Berlin, Germany : Springer-Verlag.
8. Chiu F., Lin Y., Fang C., Chou S., 2000, Prediction of nonlinear motions of high-speed vessels in oblique waves, *23th Symp. on Naval Hydrodyn.* , Val De Reuil, France.
9. Chiu F., Tiao W., Lin Y., Fang C., 2003, Prediction of nonlinear motions and wave loads of high-speed monohulls in oblique waves, *FAST 2003*, Ischia, Italy

附錄二 期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

☒期中☐期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-95-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(2/4)

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
<p>陳陽益 院長：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫執行已達預定目標，頗具體。 2. 儀器安裝在各種類型的船隻是否可適便化的技術處理。 3. 各儀器安裝在船體中其最當的位置可否探討確認。 4. 由船本身造成的干擾是否可更好的消除(除船造波外)。 5. 各情形的分析與量測結果是否可列述其精度如何？(期末報告時再敘) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝指教。 2. 所研究之技術應能普遍適用海巡署所屬各型船舶，不因船隻而異。 3. 原則上，軸線越長精度越佳，但以無線傳輸可達之距離為限。 4. 其效應會自然反應在船體運動上，應無消除之必要。 5. 期末報告會盡力列述，感謝指教。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 符合。 2. 依處理情形辦理。 3. 依處理情形辦理。 4. 依處理情形辦理。 5. 依處理情形辦理。
<p>黃明志 教授：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本期研究預期完成無線式船舶運動量測模組技術，此期中報告說明加速度感測、橫搖角及縱搖角感測，以及無線傳輸模組之規畫 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將儘速完成測試。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依處理情形辦理。

<p>與系統建構，但尚無測試結果，無法判斷此規畫與建構是否合適。</p> <p>2. 報告中談及 MIB520CA 接合 MICAz 及 Sensor Board，但對此二元件沒有詳加說明，整份期中報告中附了一大堆規格表，也不差再附此二元件之規格表。</p> <p>3. 是否應進行加速度計及傾角計率定校正試驗，此外 4g 加速度計規格過大。</p>	<p>2. 期末報告中將附加，感謝指正。</p> <p>3. 將會予以進行。4g 可能偏大，但 2g 又恐偏小而超過線性範圍，惟 4g 或 2g 皆應不至於影響技術發展。</p>	<p>2. 依處理情形辦理。</p> <p>3. 依處理情形辦理。</p>
<p>邵揮洲 教授：</p> <p>1. 在「船舶運動推算臺灣海域即時波浪場模式建立之研究(2/4)」期中報告中，顯示計畫執行進度依原定計畫進行，除了完成無線式船舶運動量測模組整體規劃並進行第一階段測試。因此符合原定計畫。</p>	<p>1. 感謝指教。</p>	<p>1. 符合。</p>
<p>何良勝組長：</p> <p>1. 建議本研究期末報告中，補述前一年引用之理論基礎及模式驗證情況。</p> <p>2. 相關運動模組是否受船行限制？其無線傳輸受干擾情形如何？</p>	<p>1. 期末報告將附加，感謝指正。</p> <p>2. 應不受船行限制。無線傳輸頻率相當高，應不至於受船上系統干擾，惟不排除受金屬結構影響傳輸距離或有雜訊，將予留意。</p>	<p>1. 依處理情形辦理。</p> <p>2. 依處理情形辦理。</p>

<p>曾相茂研究員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 是否再由波量儀之測量資料來做參考及比對，如有是用何種波浪儀。 2. 一般船舶在大風大浪下受到限制，譬如颱風來襲前都已進港或避開了，是否大浪都沒法測到呢？要如何補救。 3. 第 6 頁其「數個無線資料收集器」最多可用幾個。 4. 第 15 頁能否在報告中直接註明圖 7 MDA320CA 之尺寸。 5. 在短期中(幾個月)就有這樣的結果是被肯定的。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本年度以完成實驗室測試為目標，後續實測之比對，則雷達測波會是一適當之考慮。 2. 本系統技術在於補強現有測波技術之不足，並無取代現行所有系統之意圖。本系統技術以船舶出海航行為前提。 3. 該段文意所指之數量並不受技術之限制，可設置所需求之任意數量。 4. 期末報告將附加。 5. 感謝指教。 	<ol style="list-style-type: none"> 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. 依處理情形辦理。 5. 符合。
---	--	--

附錄三 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-95-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(2/4)

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
<p>陳陽益 院長：</p> <p>1. 敝人於期中報告中所請教之意見中的 1、2、3 點於期末報告中皆已適當的執行成果回應，很好！但 4、5 兩點再就教一下，於下。</p> <p>2. 船本身造成的干擾是否有更好的消除包括船造波的部分，即船行駛就會造波，而此波並非海上原有的波浪，建請如何消除船造波，以達真正的量測出真實的海面波。</p> <p>3. 量測與分析的結果其精度請列述一下。</p> <p>4. 建議此計畫執行可達到量測的最大能力範圍，說明一下，即包括什麼樣的海面條件(有風、浪、水深、地形等條件)。</p> <p>5. 必要取得的軟硬體技術與</p>	<p>1. 感謝指教。</p> <p>2. 船自身造波與入射波交互作用對船體運動之影響，在船舶運動理論裡一般視為次要的效應而予以忽略。</p> <p>3. 此部分將會在全系統完成後，進行檢討。</p> <p>4. 基本上，所使用的船舶運動理論是在深水波的條件下進行。船舶可運作且船體運動可量測到的範圍內應皆可適用。</p>	<p>1. 依處理情形辦理。</p> <p>2. 依處理情形辦理。</p> <p>3. 依處理情形辦理。</p> <p>4. 依處理情形辦理。</p>

資料應儘速解決(即 Sampling rate 問題),或自行研發亦可參考。	5. 將會儘速解決。	5. 依處理情形辦理。
<p>黃明志 教授：</p> <p>1. 本期研究預期完成無線式船舶運動量測模組技術。期末報告中已說明 Zigbee 無線傳輸的測試結果，達成預期目標。</p> <p>2. 本報告亦完成傾角計與加速度計之校正測試，已回應期中報告審查意見之要求。</p> <p>3. 惟就其結果看來，只是「靜態」的校正測試，並不符合此系統佈放於海巡署船舶「動態」運動下之實際情況。主持人應完成「動態」校正測試，較具完整性。</p>	<p>1. 感謝評論。</p> <p>2. 感謝評論。</p> <p>3. Sampling rate 問題於後續獲得澄清之後，即會進行動態測試。</p>	<p>1. 符合。</p> <p>2. 符合。</p> <p>3. 依處理情形辦理。</p>
<p>邵輝洲 教授：</p> <p>1. 計畫原定以 Crossbow 產品為標的量測模組，由於 Sampling rate 太低而無法達到動態的量測目的，這個問題應儘快解決以期達到原定計畫之目標。</p> <p>2. RF 傳輸的研究與本計畫無關，建議可以不用放在報告中。</p> <p>3. 目錄的第三章標題有誤，請改正。</p>	<p>1. 感謝指正。將會持續針對 Sampling rate 問題探討，務必會尋找出解決方案。</p> <p>2. 感謝指正。由於後續探討 Sampling rate 問題時，RF 傳輸亦可能是解決方案之一，因此仍以先行納入為宜。</p> <p>3. 感謝指正，會依循修正。</p>	<p>1. 依處理情形辦理。</p> <p>2. 依處理情形辦理。</p> <p>3. 依處理情形辦理。</p>

<p>何良勝 科長</p> <p>1. 內文建議修正部份：</p> <p>(1)目錄之第三章標題有誤，且無第四章名稱。</p> <p>(2)部分圖、表未能清晰明示，請補充修正。</p> <p>2. 本年之相關測試似屬靜態形式，相關系統驗證與評估可能無法表現出實際船行動態之情況，因此，有否受船行時之影響或限制，無法顯現。建議未來應加強此方面之測試及驗證</p>	<p>1. (1) 感謝指正，會依循修正。</p> <p>(2) 感謝指正，會補充修正。</p> <p>2. 感謝指教。將會持續針對 Sampling rate 問題探討，務必會尋找出解決方案，並進行動態測試與驗證。</p>	<p>1. 依處理情形辦理。</p> <p>2. 依處理情形辦理。</p>
<p>曾相茂 研究員</p> <p>1. 本研究報告結果是值得肯定的。</p> <p>2. 是否可考慮增加即時“流場測報”在系統內(記得七、八年前台大海洋研究所劉倬騰教授就提出一個計畫要在海巡署艇上安裝)。</p> <p>3. 此系統上(1)船隻之前後左右搖擺與波高及(2)船速與波浪的週期有很大的關係，本計畫中不知如何考慮。</p> <p>4. 未來預定要做的系統(現場)驗證與評估預計何時完成，如何驗證。</p>	<p>1. 感謝評論。</p> <p>2. 本研究著眼於波浪對船舶運動之效應，從而反算波浪。至於流場對於船舶運動則未在考慮範圍之內。</p> <p>3. 本研究藉由船舶運動理論以及類神經網路建構了波高、週期、船速與船舶運動之間的關係。</p> <p>4. 在全程計畫結束之前將會擇時洽海巡船協助執行測試與驗證。</p>	<p>1. 符合。</p> <p>2. 依處理情形辦理。</p> <p>3. 依處理情形辦理。</p> <p>4. 依處理情形辦理。</p>

附錄四 期中簡報資料

NTU-ESOE

Motion & Control Lab.



計畫編號：MOTC-IOT-95-H2DB007



船舶運動推算臺灣海域即時 波浪場模式建立之研究 (2/4) 期中簡報

計畫主持人：邱逢琛 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

2006/07/13

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 / **進行中**)
- (3) 台灣海域波浪全貌分析方法 (96年度)
- (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)

2

本期計畫目標及工作內容

目標：完成無線式船舶運動量測模組之研發

內容：

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

本期中報告將說明加速度感測、橫搖角及縱搖角感測，以及無線傳輸模組之規劃與系統建構

3

預期成果

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：預期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：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。

4

預期效益

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。

後續利用遍佈台灣海域值勤的海巡船舶運動，進行台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，採用類神經網路模式方法的研究不多，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，因此本期研究所欲研發之無線式船體運動量測模組技術應具有相當之創新與挑戰性。 5

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

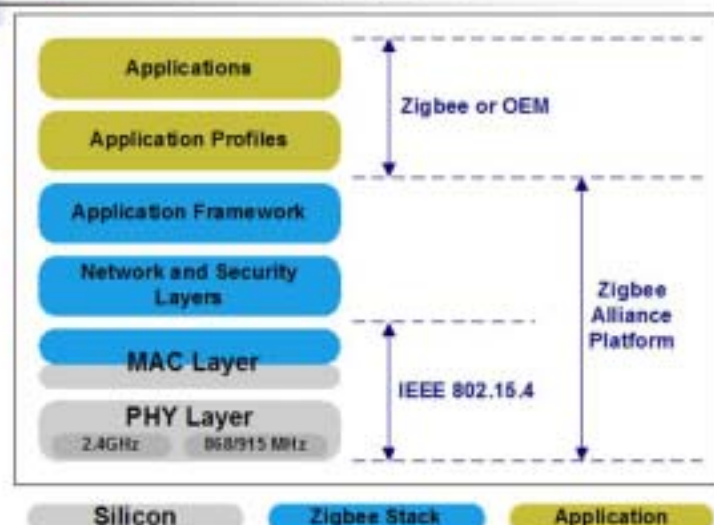
Feature(s)	IEEE 802.11b	Bluetooth	ZigBee
Power Profile	Hours	Days	Years
Complexity	Very Complex	Complex	Simple
Nodes/Master	32	7	6-1000
Latency	Enumeration upto 3 seconds	Enumeration upto 10 seconds	Enumeration 30ms
Range	100 m	10m	70m-300m
Extendability	Roaming possible	No	YES
Data Rate	11Mbps	1Mbps	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。

7



Zigbee應用產品標準架構



8



模組元件

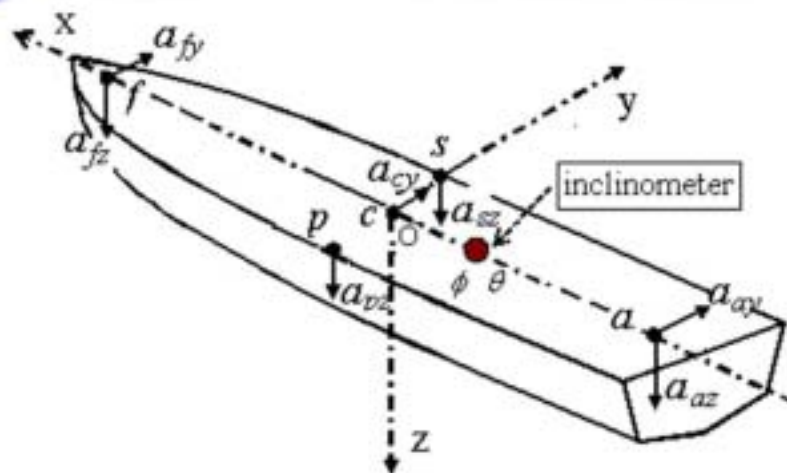
選用了Crossbow的 Zigbee 應用產品：Sensor、DAQ Board、Mote及Gate

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

9



感測器模組佈建位置示意圖



10



配置位置及功能表

位置	配置	量測	產品型號	特色	備註
f	艏	ay, az	CXL04LP3	3軸4g加速度計	[S]
			MDA320CA	8 ch, 16 bit	[DAQ]
			MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] TinyOS
c	艏	ay	CXL04LP1	單軸4g加速度計	[S]
		ϕ, θ	CXTA02	雙軸傾角計	[S]
			MDA320CA	8 ch, 16 bit	[DAQ]
			MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] TinyOS
p	左舷	az	CXL04LP1	單軸4g加速度計	[S]
			MDA320CA	8 ch, 16 bit	[DAQ]
			MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] TinyOS

11



配置位置及功能表

s	右舷	az	CXL04LP1	單軸4g加速度計	[S]
			MDA320CA	8 ch, 16 bit	[DAQ]
			MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] TinyOS
a	艏	ay, az	CXL04LP3	3軸4g加速度計	[S]
			MDA320CA	8 ch, 16 bit	[DAQ]
			MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] TinyOS
	駕駛室		MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] Base Station
			MIB520CA	Baud rate: 57.6k	[G] USB 介面
			PC or PDA		處理運動計算及波浪反算

12

S 雙軸傾角計 + DAQ + M



13

S 三軸加速度計 + DAQ + M



14

系統模組



15

期中進度報告

本期（第一期）研究於現階段已完成下列工作：

1. 完成無線式船舶運動量測模組整體規劃，決定選用 IEEE802.15.4 / 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。
2. 為進行第一階段測試，本研究已先行購入了 Sensor + DAQ board + Mote 兩組及一個 Gate。兩組 Sensor 分別為三軸加速度計 CXL04LP3 及雙軸傾角計 CXTA02，而 DAQ Board 為 MDA320，Mote 為 MPR2400CA，Gate 為 USB 介面的 MIB520。

刻正進行各組件之測試中，包括 TinyOS 軟體的撰寫在內。

16



後續工作

在完成第一階段的無線感測組件測試之後，將擴充完成整體無線感測模組的建置，並依循主持人於參考文獻[15]所示之感測器布置及船體運動分析方法（詳附件A）建構船舶運動演算及統計分析組件，並據此進行系統驗證與評估。將在實驗室模擬船體任意運動，以測試所建構之無線式船舶運動量測模組在量測分析船體運動上之精度，以確認此一無線式船舶運動量測模組之有效性。

[15] 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


附錄五 期末簡報資料

NTU-ESOE

Motion & Control Lab.

計畫編號：MOTC-IOT-95-H2DB007

MaG Lab



船舶運動推算臺灣海域即時
波浪場模式建立之研究 (2/4)
期末簡報

計畫主持人：邱逢琛 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


2006/11/16

1

NTU-ESOE

Motion & Control Lab.

MaG 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 / 進行中)
- (3) 台灣海域波浪全貌分析方法 (96年度)
- (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)

2

本期計畫目標及工作內容

目標：完成無線式船舶運動量測模組之研發

內容：

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

預期成果

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：預期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：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。

預期效益

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。

後續利用遍佈台灣海域值勤的海巡船舶運動，進行台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，採用類神經網路模式方法的研究不多，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，因此本期研究所欲研發之無線式船體運動量測模組技術應具有相當之創新與挑戰性。 5

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

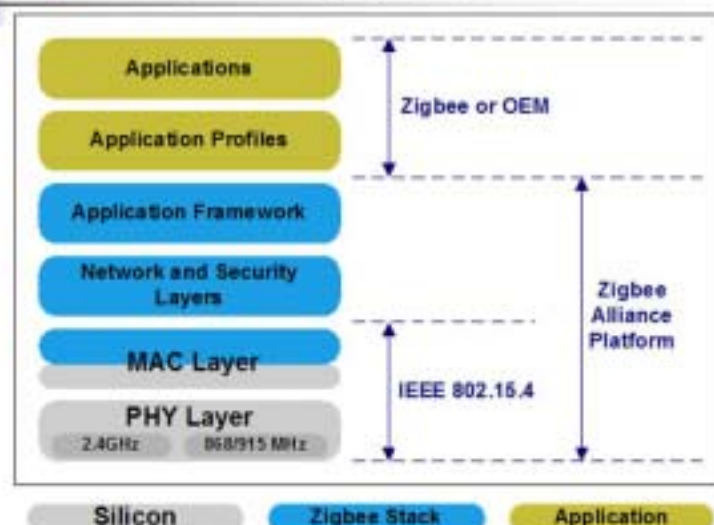
Feature(s)	IEEE 802.11b	Bluetooth	ZigBee
Power Profile	Hours	Days	Years
Complexity	Very Complex	Complex	Simple
Nodes/Master	32	7	6-1000
Latency	Enumeration upto 3 seconds	Enumeration upto 10 seconds	Enumeration 30ms
Range	100 m	10m	70m-300m
Extendability	Roaming possible	No	YES
Data Rate	11Mbps	1Mbps	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。

7



Zigbee應用產品標準架構



8



模組元件

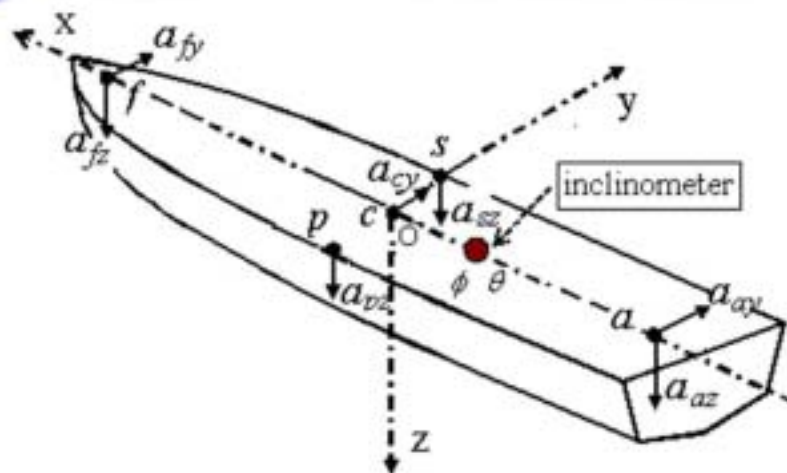
選用了Crossbow的 Zigbee 應用產品：Sensor、DAQ Board、Mote及Gate

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

9



感測器模組佈建位置示意圖



10



配置位置及功能表

位置	配置	量測	產品型號	特色	備註
f	艏	ay, az	CXL04LP3	3軸4g加速度計	[S]
			MDA320CA	8 ch, 16 bit	[DAQ]
			MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] TinyOS
c	艏	ay	CXL04LP1	單軸4g加速度計	[S]
		ϕ, θ	CXTA02	雙軸傾角計	[S]
			MDA320CA	8 ch, 16 bit	[DAQ]
			MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] TinyOS
p	左舷	az	CXL04LP1	單軸4g加速度計	[S]
			MDA320CA	8 ch, 16 bit	[DAQ]
			MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] TinyOS

11



配置位置及功能表

s	右舷	az	CXL04LP1	單軸4g加速度計	[S]
			MDA320CA	8 ch, 16 bit	[DAQ]
			MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] TinyOS
a	艏	ay, az	CXL04LP3	3軸4g加速度計	[S]
			MDA320CA	8 ch, 16 bit	[DAQ]
			MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] TinyOS
	駕駛室		MPR2400CA	ZigBee, 250kbps	[M] Base Station
			MIB520CA	Baud rate: 57.6k	[G] USB 介面
			PC or PDA		處理運動計算及波浪反算

12

S 雙軸傾角計 + DAQ + M



13

S 三軸加速度計 + DAQ + M



14

系統模組

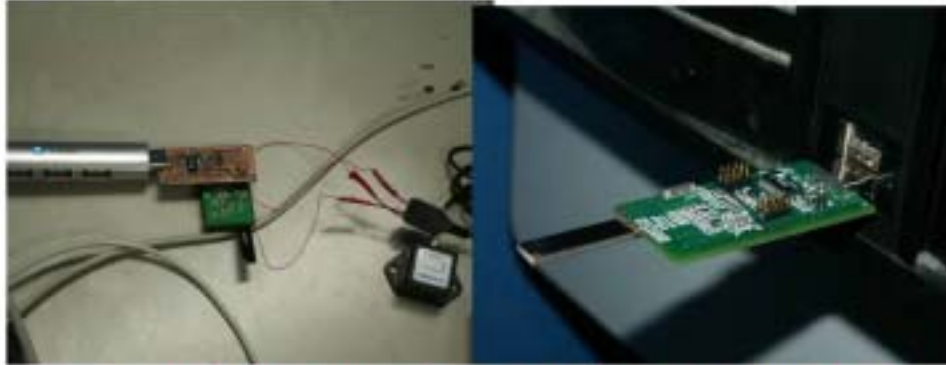


15

以射頻RF無線傳輸元件測試



16



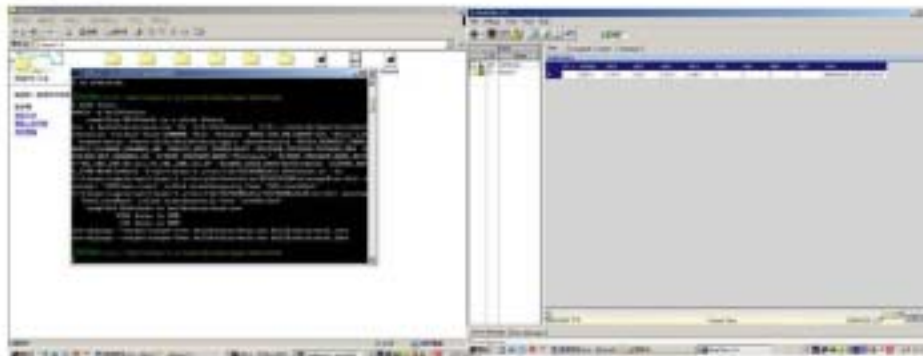
感測器與射頻RF無線傳輸發射元件之接合情形

射頻RF無線傳輸接收元件與電腦接合之情形

17



以Zigbee無線傳輸元件測試



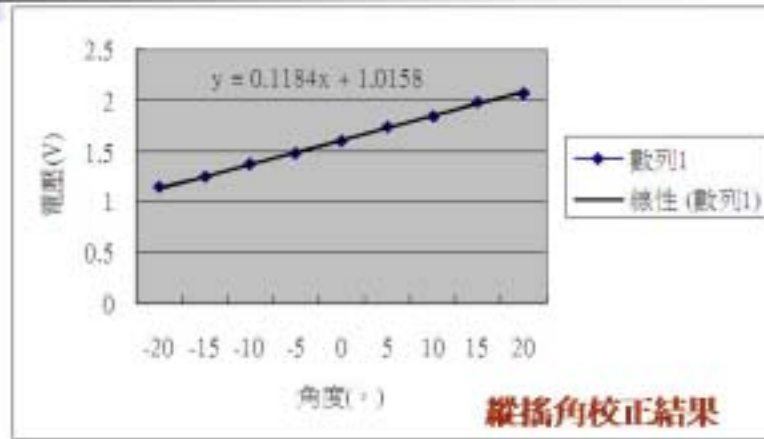
TinyOS的介面 cygwin

MoteView主程式介面

18



傾角計校正測試



19



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2G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

20



結論

1. 完成無線式船舶運動量測模組整體規劃，決定選用 IEEE802.15.4 / 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。
2. 為進行第一階段測試，本研究已先行購入了 Sensor + DAQ board + Mote 兩組及一個 Gate。兩組 Sensor 分別為三軸加速度計 CXL04LP3 及雙軸傾角計 CXTA02，而 DAQ Board 為 MDA320，Mote 為 MPR2400CA，Gate 為 USB 介面的 MIB520。
3. 完成以本所光機電實驗室所發展的射頻 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。
4. 完成傾角計及加速度計之校正。