

船舶穩定度控制系統

The stability control system on ship

蕭守進¹

林秉諺, 施翰翔, 洪銘宏, 吳宜軒²

陳權³ chchen@meiho.edu.tw

摘要

船舶在海面上航行會因為海洋環境或天候等因素造成不同程度的搖晃，這些不穩定性會對船舶的安全造成重大的負面影響。船舶穩定性是造船的核心技術，此技術已經被探究了數百年。不同大小或船型之船舶會有不同之回授控制機制來增加船舶行駛之穩定度，但大體上都是透過各式感測器來感應船舶姿態、船速、航向...等，再由回授控制機制來處理。本研究利用相對便宜並且我們可取得之感測元件如三軸陀螺儀、加速度計、電子羅盤..等設計回授控制系統。我們寫程式並套用不同演算法調整伺服馬達擺動角度，控制砝碼重錘完成船舶穩定之模擬系統，並得到了不錯的結果。

關鍵字：船舶平衡、回授控制系統、三軸陀螺儀、Arduino 感測器應用

Abstract

When the ship sailing on the sea, there are many factors such as marine environment or bad weather caused varying degrees of shaking. These instabilities can have a significant negative impact on the safety of the ship. Ship stability is the core technology of naval architecture and has been taken into account for hundreds of years. There are different mechanisms or feedback control system to increase the stability of ship with different size or shape. All of these control systems have many sensors to detect many data such as attitude, speed, directions and so on. All of these data will be the control factor in feedback system. Our study uses the cheaper sensors such as gyroscopes, accelerometer and compass to design our control feedback system. We write program and develop different algorithms to control the vibrate degree of server motor binding with heavy weight and have got a good result in our simulation.

Keywords: Stability on ship, Feedback control system, 3 axial gyroscope, Arduino sensor application

¹國立東港海事輪機科教師

²國立東港海事輪機科學生

³美和科技大學資管系副教授 (聯絡地址：912912 屏東縣內埔鄉美和村屏光路 23 號，聯絡電話：08-7799821 轉 8678，E-mail:chchen@meiho.edu.tw)。

壹、前言

船舶在海面上航行會因為海浪等環境因素的干擾造成船舶行駛的各種搖擺運動。過大之搖擺運動會對船舶的安全行駛帶來負面的影響。如何保持船舶行駛過程中的平穩性是數百年來造船之核心技術。為了研究船舶在海浪的擾動作用下姿態回應控制，我們利用 MPU6050 晶片模組與 Arduino 控制板設計感測機制與回授控制系統，可以模擬在海浪擾動下的船舶姿態運動最快回復穩定之實驗裝置平台。此機制能利用三軸陀螺儀反映船舶姿態運動的運行狀態，由感測器將船舶的姿態資訊輸入到船舶模型 Arduino 板中，經控制器發出控制指令讓伺服馬達帶動重錘改變重心，抵消擾動對船舶的影響，使船舶能夠保持在預定的姿態。本文在船舶姿態運動閉環系統中採用的控制演算法為 PID 控制。本實驗研究成功設計出基礎之控制系統，將它應用模擬於船舶穩定度控制，降低船舶航行過程中橫搖偏擺度，減緩貨物移動碰撞、航行阻力或旅客不舒適度，以及在緊急狀態下，能盡速恢復船身平衡的裝置。我們提出利用三軸陀螺儀加速計鐘擺重錘機構作平衡控制，並用加速度 App 程式量測三軸平穩度，探討此裝置如何準確與有效的速度平衡船體或於意外發生時能自行作平衡控制與增加救援時效。

本控制系統除了規劃硬體穩定度外，在軟體設計上依橫向搖擺度自動判斷適當參數，組合成穩定控制系統，並藉由 MPU6050 晶片模組，結合伺服機鐘擺重錘機構，當船舶於水平狀態時三軸的角速度為 0，當船舶作 X 軸向橫擺晃動時，角速度開始變化，停下來後再趨近於 0。實驗結果可知船舶 X 軸向因左右偏擺，產生正負角速度值，當鐘擺重錘運作輔助船舶平衡控制時，X 軸角速度逐漸趨於 0 並達到平穩。連續測試五次，鐘擺機構之重槌因重量逐漸增加，達平穩致 X 軸角速度趨近於 0 的時間也逐漸縮短。X 軸偏擺的同時，觀察另外兩軸的角速度也幾乎為零，此乃本艘船舶為朝大型商用貨櫃輪設計，Y、Z 軸較無偏擺現象。希望透過本研究過程，除可改善船舶平穩度控制外，也讓我們了解陀螺儀與加速度數據所代表的意義與實際運用。利用鐘擺重錘機構在船舶實際運作的性能，進而調整到最佳狀態。

貳、研究設備及材料

一、實驗用儀器設備

(一) Android 系統手機

本實驗利用 Android 手機下載於 App Inventor2 編寫好的三軸加速度測量程式作為研究用儀器，係一般市售之 Android 系統四核心手機。



圖 1 Android 系統手機

(二) Arduino Uno

分別是 Arduino 硬體、Arduino 軟體及 Arduino 擴充元件。硬體部分可購買現成的板子或是依據網路下載的電路圖自行組裝，初學者可購買現成的，可至網路搜尋購買。不僅軟體是開放源碼，硬體也是開放的。軟體的開發環境可在網上免費下載，而 Arduino 的電路設計圖也可從官方網站自行下載，依據自身之需求進行修改。

Arduino 學習門檻較為簡單，不需電子電機相關科系的背景，也可以容易學會 Arduino 相關互動裝置的開發。由於 Arduino 以公開共享為基礎，多數人都樂於分享自己的創作品，以此為基礎，依據自身的需求行調整，就可完成自己的創作[1]。



圖 2. Arduino UNO 控制板

(三) MPU6050 晶片模組

MPU-6050 為利用 MEMS 技術整合而成之 6 軸運動感測元件，相較於傳統單獨元件，它免除了組合陀螺儀與加速器時之軸間差的問題，並減少了大量的包裝空間也成功降低功耗，售價亦在數百元內，所以有很廣泛之應用。MPU-6000 整合了 3 軸陀螺儀、3 軸加速器，並含可藉由第二個 I2C 端口連接其他廠牌之加速器、磁力傳感器等運動處理器(DMP: Digital Motion Processor)，提供應用端輸出完整的 9 軸融合演算法應用。可降低了運動處理運算對操作系統的負荷，並為應用開發提供架構化的 API。MPU-6050 的角速度全格感測範圍為 ± 250 、 ± 500 、 ± 1000 與 $\pm 2000^\circ/\text{sec}$ (dps)，可準確追縱快速與慢速動作。其重要特

性我們歸納整理如下：

- 以數位化輸出 6 或 9 軸旋轉矩陣、歐拉角格式(Euler Angle forma)的融合演算數據。
- 可程式控制，且程式控制範圍為±2g、±4g、±8g 和±16g 的 3 軸加速器。
- 移除加速器與陀螺儀軸間敏感度，降低設定給予的影響與感測器的飄移。
- 數字運動處理(DMP: Digital Motion Processing)引擎可減少複雜的融合演算數據、感測器同步化、姿勢感應等的負荷。
- 陀螺儀運作電流：5mA，陀螺儀待命電流：5 μ A；加速器運作電流：350 μ A，加速器省電模式電流：20 μ A@10Hz

本研究專題所採用之 MPU-6050 元件實體圖如下：



圖 3. MPU6050 晶片模組

二、船模製作設備

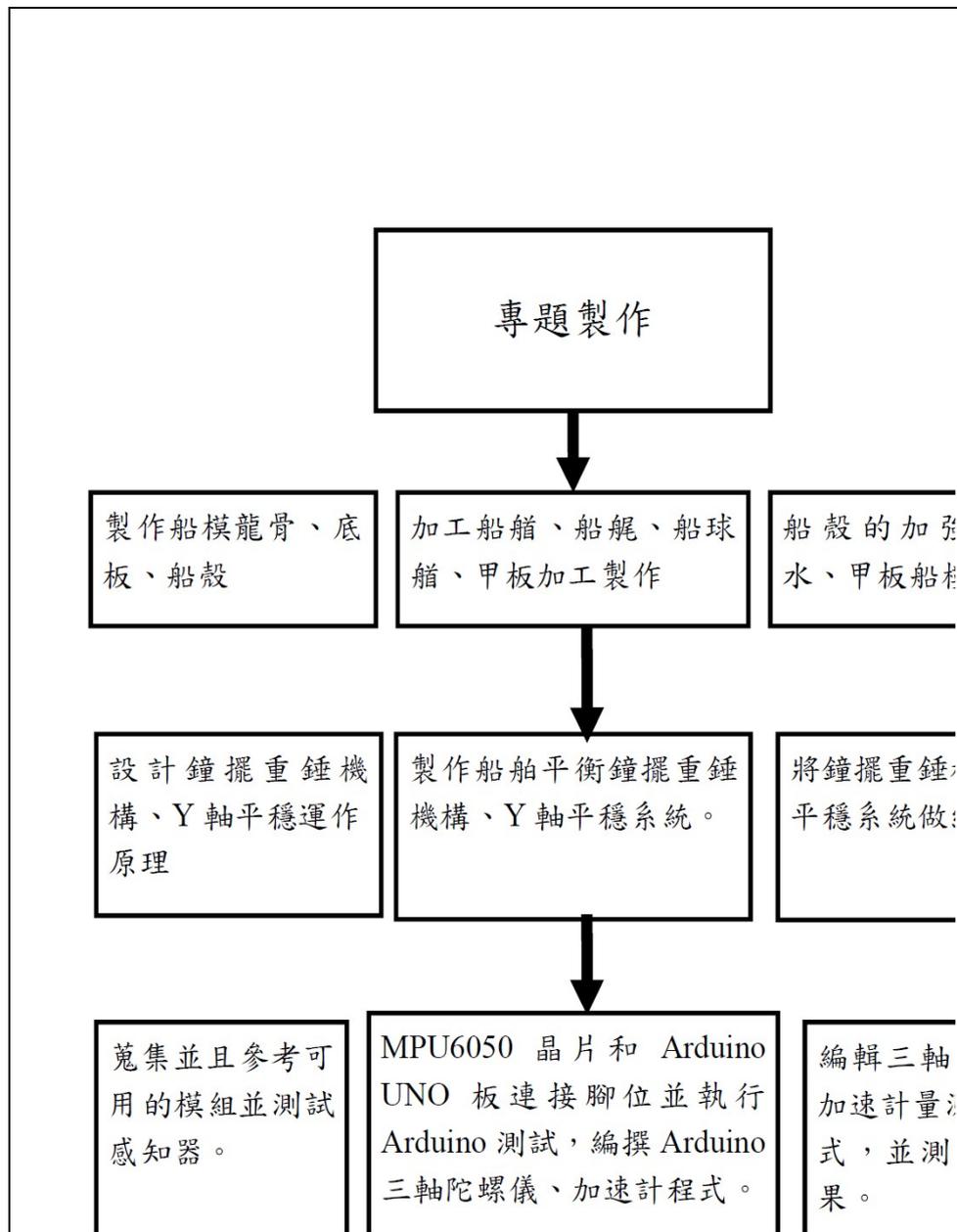
表 1 船模製作設備清單

項目	設備名稱	應用說明	項目	設備名稱	應用說明
1	尖嘴鉗	夾鑷物品	11	板手組	鎖螺絲用
2	固定鉗	固定物品之用	12	攻牙器	工螺紋內、外徑
3	線鋸機	切割木板	13	空氣壓縮機	清潔
4	鐵鎚	敲擊釘子或物品	14	手提電鑽	鑽孔
5	剪刀、美工刀	剪裁紙或材料	15	手提式砂輪機	切削大量材料
6	鋼尺、捲尺	量測距離或長度	16	砂紙研磨機	細修批土或補土
7	銑床、車床	機械加工	17	三用電表	量測電路和電器
8	熱熔槍	加強船殼	18	防水膠	船殼接縫防水
9	十、一字起子	鎖螺絲用	19	游標卡尺	測量精密的距離
10	鑽床、虎鉗	鑽孔、固定加工材料	20	手機	拍照、錄影

三、船模製作材料

表 2. 船模製作材料清單

項目	材料名稱	單位	數量	應用說明
1	三軸陀螺儀+加速計	個	1	顯示傾斜角度
2	銅管	支	2	尾軸套、排氣管製作
3	強力膠	桶	1	接著 EVA 泡棉
4	墊片	塊	30	提高引擎座高度
5	硬化劑、補土	罐	5	補強、塑型、美化
6	原木	片	10	船骨材料
7	砂紙	張	2	研磨船身粗糙表面
8	角鋁	塊	10	支架製作
9	鐵釘	支	100	固定船身結合
10	六角螺絲	支	12	把舵固定在船艉
11	螺帽	支	10	支架裝配固定用
12	木條	支	30	船的外殼
13	引擎	顆	1	船模動力來源
14	鐵板	塊	4	固定組件
15	油箱	個	1	儲裝油料
16	電瓶	顆	1	儲存發電機發出電力
17	伺服馬達	個	4	控制船舵旋轉方向及阻風門
18	油漆	罐	5	船身外觀噴漆
19	保麗龍	個	1	磨出船殼雛形
20	熱熔條	條	200	加強船殼防水
21	焊條	條	2	黏接鐵板
22	油管	條	2	引擎燃油輸送
23	螺芽桿	條	1	組裝元件
24	方向舵	個	1	改變船體行進方向
25	砵碼	組	1	測試原件數據
26	螺旋槳	個	1	船模推進
27	玻璃纖維	捆	1	加強船殼
28	汽車補土	罐	6	填補漏洞
29	汽油濾網	個	1	過濾汽油
30	油管環	個	3	固定油管



二、船體製作

(一) 船模龍骨、底板與船殼製作

用電鋸按照船體比例切割原木，以卡榫的方式組裝，然後用汽車補土加玻璃纖維固定，完成龍骨的架設，如圖 4、圖 5。船殼製作是用保麗龍研磨船體外觀形狀，底板塞進船身龍骨，並把複合木板切割成條型，再用釘子將木條以堆疊的方式釘在龍骨上製作出船

舶兩舷，最後用矽利康防水膠填補木條間的縫隙，如圖 6。



圖 4. 裁切龍骨



圖 5. 龍骨完成圖



圖 6. 船殼完成圖

(二) 船艙、船艙、船球艙、甲板加工製作

船艙與船身的製作，用廢棄的原木切割成塊狀，以推疊方式做出船艙與船球艙形狀，再用熱熔膠慢慢填補木材間縫隙，便完成船頭的製作，如圖 7。船艙部分，裁切大小適中的木板組合到船艙，再用汽車補土調和硬化劑固定。最後用電鋸依照兩舷的寬度，切出如圖 8 外型的甲板並完成船艙製作，如圖 9。



圖 7. 堆疊船頭並填補縫隙



圖 8. 龍骨完成圖



圖 9. 船艙完成圖

(三) 船底船殼製作與船殼強化和防水

船底由層板錯位疊加完成，如圖 10；而船殼之防水製作流程是於船體的外殼上均勻塗抹汽車補土，靜置三天乾燥後用手持砂輪機修整表面再依塗抹強力膠及熱熔膠加強防水性，如圖 11~12。



圖 10. 堆疊船底與船殼



圖 11..易進水的縫隙填補土



圖 12. 船艙完成狀況

(四) 甲板、船樓與塗漆

將木板切削出甲板型狀，並在引擎裝設位置處開孔及製作甲板裝飾配件，最後噴塗色漆顏料，如圖 13~14。



圖 13 主甲板船樓圖



圖 14 船模噴塗顏色

肆、船舶穩定機構設計與實驗數據量測

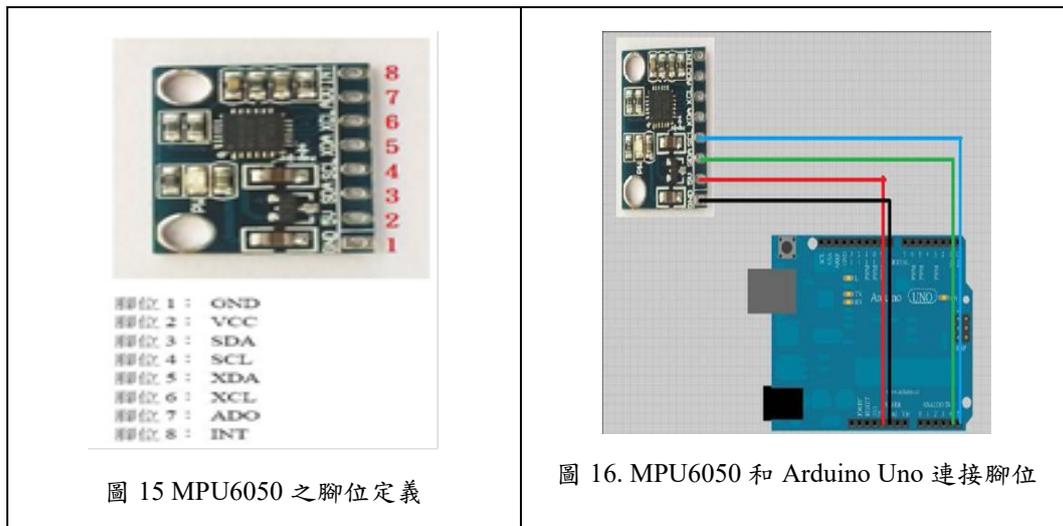
一、 MPU6050 晶片模組感知器測試[2]

MPU6050 晶片模組為一個包含三軸陀螺儀及加速計結合在一起的數位運動處理器，以 I2C 輸出六軸的旋轉矩陣數位資料。

(一) MPU6050 模組腳位與 Arduino Uno 連接腳位說明

MPU6050 之腳位定義實體圖詳見圖 15。本系統只用到最常用的 4 個腳位；即 GND、Vcc、SDL

與 SDC，它與 Arduino Uno 連接腳位詳見圖 16。



(二) 執行 Arduino 測試

先至 MPU6050 晶片模組原廠網頁下載 Arduino 測試程式，並將之複製到 Arduino 目錄/libraries。執行 Arduino 測試程式 MPU6050-raw.ino 後，開啟序列監控視窗監看測試到的數值，代表 MPU6050 晶片模組感知器作動正常。

二、船舶平衡機構設計製作

在船舶中設計鐘擺重錘機構輔助船舶橫擺平衡，利用鐘擺的重量移動至船舶較輕側來達到平衡。目前大船本身為運用壓艙水方式，我們藉由此次專題改良實驗，如何準確並有效的速度平衡控制船體於航行中所產生的橫擺運動或意外狀況時能自行平衡與延長救援時間，鐘擺機構如圖 17 所示。

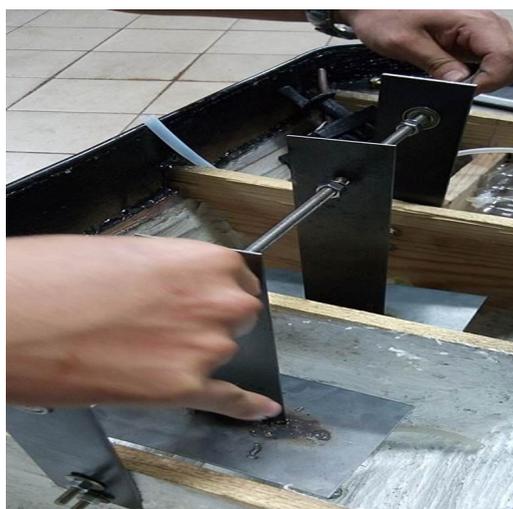


圖 17. 鐘擺機構

(一) MPU6050 三軸陀螺儀及加速計模組伺服機控制配線

利用 MPU6050 晶片模組的感應，船舶於水上運行時顯示 X, Y, Z 三軸的角速度變化，圖 5.7 為 MPU6050 晶片模組與伺服機的配線裝置圖。將 MPU6050 晶片模組裝置於船身中，配合伺服機鐘擺機構(船身置於水中測試)，觸碰船身使之做 X 軸的輕微橫擺晃動去探討 X, Y, Z 三軸角速度的變化。



圖 18. MPU6050 與伺服機控制配線

(二) MPU6050 三軸陀螺儀及加速計模組伺服機控制模組 Arduino 程式編撰[3]

透過 Arduino 內建相關程式庫結合 MPU6050 晶片模組原廠 Arduino 範例測試程式修改，並利用 MPU6050 晶片模組三軸陀螺儀與加速計平衡控制特性智慧控制伺服機鐘擺機構，減輕船舶橫擺晃動幅度。

(三) 三軸加速度量測 App 程式編撰[4]

- 進入 App inventor 2 官網使用 Designer 畫面設計 Android 裝置的使用介面 → 選擇程式元件 → 設定程式元件屬性。
- 切換至 Block Editor 畫面：設計程式的控制及邏輯如圖 5.8，程式編撰完成後建立 App 程式。
- 使用 Android 裝置下載並執行程式，程式畫面如圖 19

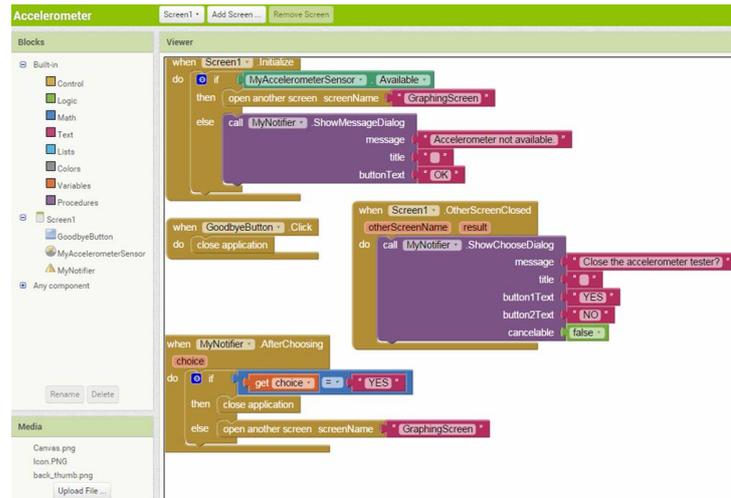


圖 19. 三軸加速度量測程式內容編撰

伍、實驗結果與討論

一、實驗結果

利用 MPU6050 晶片模組，結合伺服機鐘擺重錘機構，當船舶於水平狀態時三軸的角速度為 0，將船舶作 X 軸向橫擺晃動時，角速度開始變化，停下來後再趨近於 0，圖 20 為增加鐘擺砝碼重錘重量，並利用三軸加速計 App 程式測量出的結果。由圖中可知船舶 X 軸向因左右偏擺，產生正負角速度值，當鐘擺重錘運作輔助船舶平衡控制時，X 軸角速度逐漸趨於 0 並達到平穩。連續測試五次，鐘擺機構之重槌因重量逐漸增加，達平穩致 X 軸角速度趨近於 0 的時間也逐漸縮短。X 軸偏擺的同時，觀察另外兩軸的角速度也幾乎為零，此乃本艘船舶為朝大型商用貨櫃輪設計，Y、Z 軸較無偏擺現象。希望透過本實驗過程，除可改善船舶平穩度控制外，也讓大家了解陀螺儀數據所代表的意義與實際運用。



圖 20 三軸加速計 App 程式量測船舶擺動振幅之變化結果

二、實驗討論

利用 MPU6050 晶片模組與伺服機鐘擺重錘機構的應用，減緩船舶 X 軸橫向晃動程度達平衡外，也可利用其他機構或做不同軸向的平穩控制，本次實驗因經費與時間關係，先就 X 軸向平穩度探討，可再增加另一軸向之實驗，以更精確控制船舶穩定度。此外；本次研究專題指套用基本之 PID 控制理論，系統之控制砝碼重量也未深入探究，在質量過重情況下很容易產生超調或者是震盪現象，未來如能採用 PID 控制與施密斯預估控制相結合的控制演算法。通過試驗平臺來驗證這兩種演算法，應該能夠獲得更好的系統性能。

參考文獻

1. Arduino 介紹，http://newsletter.ascc.sinica.edu.tw/news/read_news.php?nid=2782。
2. 凱斯電子科技有限公司，MPU6050 晶片模組使用手冊。
3. 張嘉文，張嘉文，歐金池，船舶壓艙水平衡控制，崑山科技大學電子工程系，2015，5 月。
4. App inventor 2 中文學習網，<http://www.appinventor.tw/ai2>。