

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 工程學(一)科

052309

魚「水」相歡—無人水下探測器

學校名稱：基隆市立暖暖高級中學

作者： 高二 陳瑞廷 高二 江燦森	指導老師： 陳志華 江彥聖
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：遠端控制、水下探測器

摘要

本作品為遠低於市價 ROV 的材料，設計出能在水下移動的載具，加入連線在式子母船的概念，完成能遠端控制與觀察影像的水下遙控載體。首先設計可以水下自由行動與水下攝影的子船，設計電力系統與無線訊號傳輸的母船。藉由 Labview 設計出由電腦介面進行遠端控制的程式，再經由 USB 多功能 I/O 介面卡傳輸到無線訊號 2.4G 接收板，來進行遠端遙控。

除了由電腦控制外以十字手搖開關進行手動遙控試驗並將線路連接完整，藉由切換的開關來改變操作的方式，即最終改良成可手動控制或電腦控制。經海邊測試能達成無線遙控子船，水中沉浮前進動作，並搭配子船到水下攝影鏡頭接收到水下影像，達成簡易型水下生態觀測之遙控無人載具。

壹、前言

一、研究動機

小時候曾去過國立海洋科學博物館與海洋生物館參觀的經驗，親眼看見潛水員能在水中觸摸並餵食水中的動物，這令我很嚮往能下潛海水悠遊於大自然的懷抱中。但因為小時候曾因戲水過程中差點發生意外，導致我面對於海水時，產生莫名的海水恐懼症，使我不得不打消念頭。幸運的是，在學校的多元選修課程中，看到大學端的教授在介紹他們科系的課程內容時，看到了運輸系的教授介紹很多海上的船舶載具、無人船與水下載具的內容。其中對水下探測器這個特別的載具感到興趣，所以興起我們設計類似水下探測器的概念，這樣就可以身體不用接觸海水又可有身歷其境的方式，藉由水下探測器來觀察海底生態的念頭。

二、研究目的

在市面上已有很多商家在賣類似的水下探測器，但因為造價對我們高中生而言都太貴，並而且沒有同時具備我們想要的多項功能，所以我們想運用在學校的多元選修課程中學到的能力，運用連線式子船母船的概念設計一個能控制水下探測器的程式，來打造我們心目中想要的水下探測器。

- (一) 運用防水盒、防水馬達，設計出一台低成本的水下探測器。
- (二) 運用 Labview 寫出控制介面的程式，藉由電腦來控制水下探測器。
- (三) 除了由電腦控制外，也做利用十字搖桿來完成手動控制，隨時可以切換控制的機器。
- (四) 運用連線式子母船的設計概念，即子船以線控方式連接母船負責水下航行工作，母船負責接收控制命令與傳送水下影像的方式，來達成操作者不用下水而又可無線遙控以及觀測水下生態。

貳、研究設備與器材

一、研究器材



▲多功能 I/O 介面卡



▲小籃子



▲水下推進器



▲防水熱縮套管



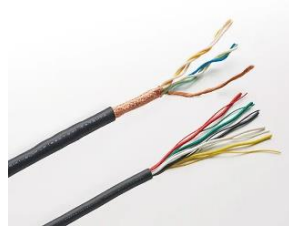
▲珍珠浮材



▲水下載具動力電池



▲6pin 防水接頭



▲電線



▲ 防水盒



▲L 型角鐵固定座



▲ 螺絲螺帽



▲十字開關(自動復位)



▲三段式搖頭開關



▲PVC 水管



▲2.4G 接收板



▲繼電器接線板

二、研究 Labview 軟體介紹

Labview 軟體是由美商國家儀器公司所開發的一項圖形化編譯程式簡稱 VI，主要的特點是使用類似流程圖的概念，裡面包含四個主要的部分。

- (一) 前置面版(front panel)
- (二) 程式方塊圖(block diagram)
- (三) 控制視窗(controls)

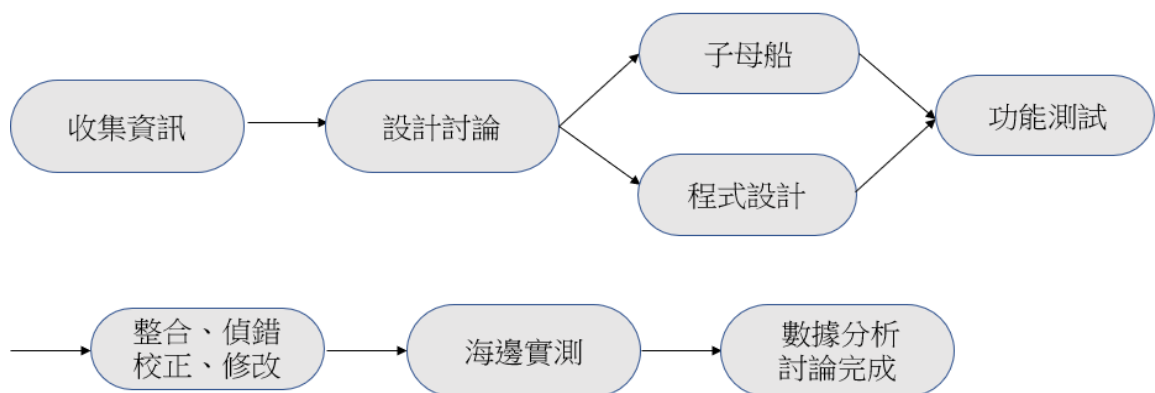
(四) 函式視窗(functions)

可以使用前置面板直接控制自己開的儀器，在程式方塊中可以透過圖示、接點或節點然後透過訊號線連接的過程就可以構成一個完整的圖形化程式，程式在設計的過程中就如同在畫流程圖，只需將邏輯概念轉換成流程方塊再搭配原件來設計，可以省下很多程式開發的時間。最重要的是透過 Labview 軟體又可直接與實際電路如馬達等直接連接當成水下載具的推進及控制方向的實作。

參、研究過程及方法

一、研究流程

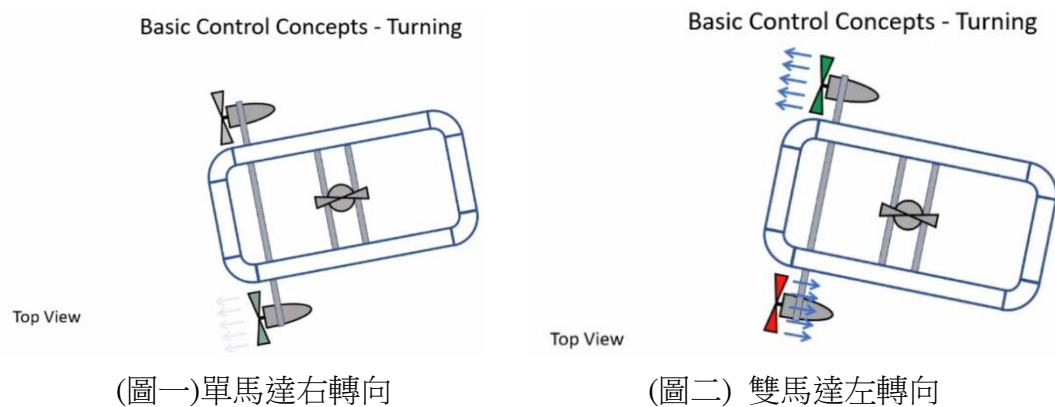
在與老師討論設計概念後，我們將原先只做出一艘水下載具的方式改成利用子船(水下載體部分)和母船(電力及訊號傳輸部分)的概念，設計成能藉由無線傳遞控制訊號的水下探測器系統，且將研究主幹分成兩個部分進行：A 子船、B 母船，除此之外，我們也把控制水下探測器的方式分成：手動控制、電腦控制兩種，並分析出設計研究過程中會遇到的問題，最後再把問題統整，尋找出相對應的解決方式，流程圖如下。



二、設計子船

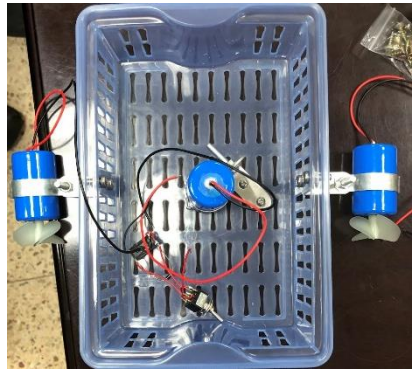
(一) 運作原理

探測器主要由水下推進器來進行方向控制與移動，當安裝於水下載具兩側的推進器同時且同方向啟動時，水下探測器便可往前移動或後退。而當安裝於載具兩側的推進器其中一邊啟動時，水下探測器便會進行左轉或右轉(圖一)、(圖二)。而安裝於中間的推進器則是控制載具上浮或下沉，其中重點是載具首先要設計成近乎零浮力狀態，亦即設計成自身重量與浮力達成平衡，此時僅需利用單一馬達即可達成控制的目的也最經濟有效。

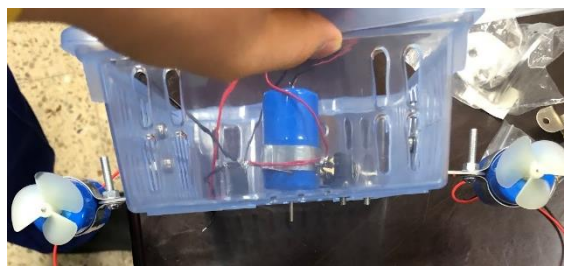


(二) 主體設計

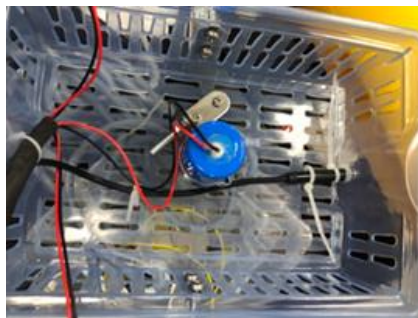
設計中運用有孔洞的塑膠盒當作子船的主架構，是因為它長時間都沒入水底所以不需要太大的浮力，同時也提供加裝浮材跟推進馬達和水下攝像頭的方便性。將推進馬達的位置安裝在中間處的左右兩邊，原因是較好維持載具姿態的平衡，可以平均的帶動整體子船的移動，而沉浮控制馬達則放置在整個子船的中心點也是為了整體達到零重力平衡和美觀的目地，如(圖三一1)、(圖三一2)，最後水下攝像頭的位置放在整體子船的最前端是為了有更好的視野，如(圖四)。



(圖三-1)利用三項開關測試馬達的運轉俯視圖

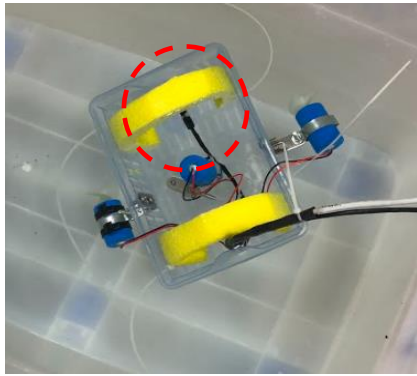


(圖三-2)利用三項開關測試馬達的運轉正視圖

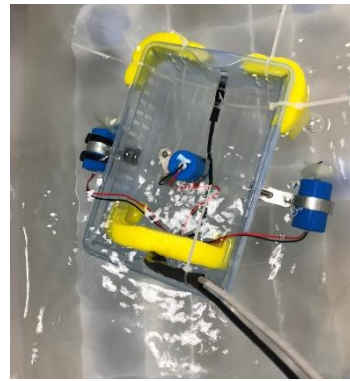


(圖四)水下攝影鏡頭

之後整艘子船需要做浮力及平衡的調整所以我們利用珍珠浮材與束帶來改善這個問題，如（圖五）初測版本，幾經測試後來又繼續做改善，如（圖六）第二版讓整體達到零重力與浮力相平衡。

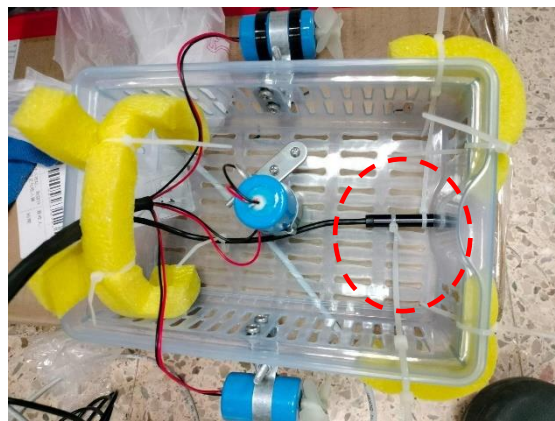


(圖五)初測版本



(圖六)第二版

最後又繼續做改裝，如（圖七）最終版是改善傳遞訊號現在入水後產生阻力影響整體水下載具的操控，所以酌加浮材來抵銷部分阻力。此過程讓我們學習到實際設計與想像之間存在著許多不確定因素，而我們也需一一調整以達成理想與實際間的平衡。

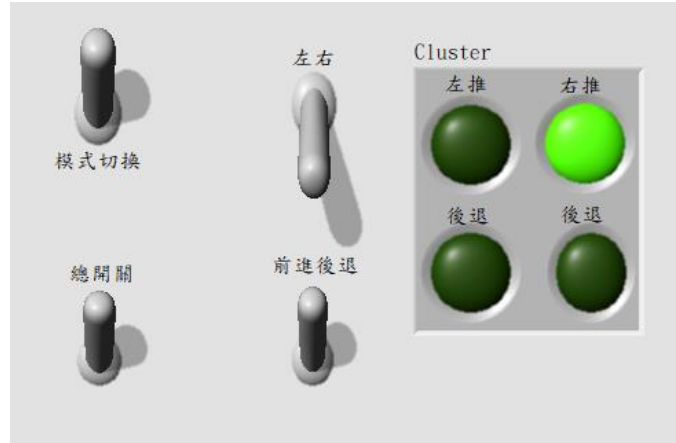


(圖七)最終版

三、設計電腦控制的程式

（一）運用 Labview

我們主要分成兩大類控制部分，分別要設計前後左右運動和沉浮姿態的控制系統。其中模式切換控制開關是用來切換成前後控制或是左右控制用，前進後退開關則是控制水下載具的前進或後退，而左右開關則是控制載具左轉或右轉，如(圖八)。



(圖八)前後左右控制程式

因為只要切換到前後左右的模式就會一直動所以我們就加一個總開關，使整體水下載具達成可前後可左右也可靜止的目的地。在浮沉的程式設計就相對簡單，只要使用兩個開關來控制即可，但實際測試時發現當兩個開關同時啟動時會發生衝突，所以我們就加了互斥邏輯(XOR)的概念來解決此一問題，如(圖九)當兩個同時啟動時就會被互斥邏輯所抑制而無法同時作動達成電路保護的目的地，編輯好程式後使用筆電連接到 I/O 多工能面卡，如(圖十)就可以從 LabView 裡控制水下潛體。設計過程中又一次讓我們體會到實際設計與想像之間的差異性，而我們也需再次調整以達成實際運作與電路保護的重要性。



(圖九)浮沉控制程式

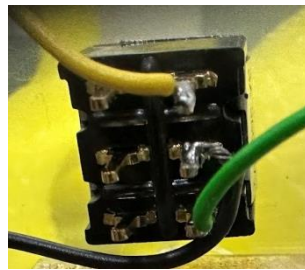


(圖十) 多功能 I/O 介面卡的輸出訊號線

(二) 手動控制遙控器設計

1. 沉浮

手動控制和程式控制一樣分別分成了方向移動和沉浮兩部分，沉浮的控制系統本設計使用了三段式的搖頭開關來切換分別是上/中/下，開關切到上方時馬達推進器會向下推進使子船可達上升的目的地；當開關切換到下面時子船會往下潛入水中；當切換到中間段位時因為沒有接線至馬達端所以馬達就不會作用，而本設計同時也利用此中間端來傳遞電源至馬達端，開關如(圖十一)所示。



(圖十一) 開關接線

2. 方向移動

設計使用了會自動復位的十字開關配合繼電器達到可以前、後、左、右移動如(圖十二)，此時十字開關利用十字搖桿的運動來觸動裝置於內的微動開關，而測試過程中經由試驗發現，原來 2.4G 遙控器上的按鈕是低電壓時

才作動，所以(圖十二)以黑線接到地線，而四個方向控鈕則分別利用有色階線來區別。後續僅需對應相對地色線再連接到 2.4G 控制板與電源後即可達成遠程遙控如(圖十三)所示，最後就是再將手動功能與電腦控制裝入設計的控制盒即可達成完整的遠端遙控器如(圖十四)。



(圖十二)手動開關



(圖十三)2.4G 傳輸控制板



(圖十四)岸置遙控盒

四、設計母船

(一) 探討母船的浮力與平衡

由於設計的母體必須保持在水面上，但是會因為子船給線的拉力及母體的配重問題會導致船身不平衡，又因為母船內裝會有電路設備所以採用的是防水盒，如(圖十五)，所以如果直接在母船上動工可能導致整體失去防水效果，幾經思考後決定幫母船外部再加裝 PVC 水管來輔助浮力與支撐本體，這樣就可以在 PVC 水管上加工而不用怕防水盒會失去防水效果。



(圖十五)母船防水盒

(二) 母船設計

母船設計以防水盒為主體(26.5cm*18.5cm*9.5cm)，在其外部加裝 PVC 水管支撐結構，水管的設計分別使用了八個九十度的彎管、四個三通管、

四個(15.5cm)、八個(2.5cm)、兩個(5.5cm)的直管來組裝，最後再把珍珠浮條用束帶束緊在水管上增加其浮力，如(圖十六)。母船裡則放置繼電器電路板、2.4G 接收版和 12v 電源電池後使用防水接頭連接至子船，因為電池重量較重如無固定在航行過程中，其重心會變化將導致母船配重不當，有傾斜翻覆的問題，所以把電池放在船的中間並用掛勾與膠條和電工膠帶固定不動(圖十七)。



(圖十六)PVC 與浮力結構



(圖十七)浮力支撐與防水盒結合

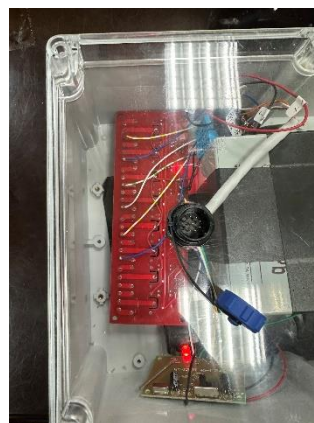
五、子船到母船的線路連接與防水措施

(一) 子船到母船的線路連接

本設計安裝在水下探測器的推進器馬達共有三顆，而每顆馬達都是由兩條導線來控制組成(2p)，3 顆馬達共計需要 6p 的導線控制，所以將採用 6p 防水接頭做為連結設計，並將線路由束帶束緊。在防水盒的頂部開孔安置防水母座，並把防水接頭安裝在防水盒上如(圖十八)、(圖十九)。



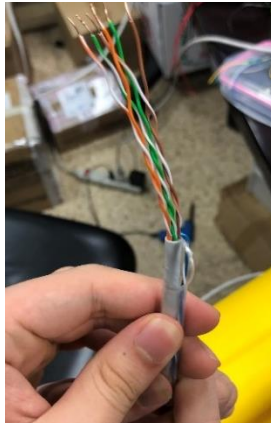
(圖十八)防水盒之防水接頭製作



(圖十九)防水盒之防水接頭安裝至母船上

(二) 水下線路的防水處理方式

馬達控制線路連結處會因為不穩定而容易脫落且不防水，所以首先將傳輸線與馬達控制線處用焊錫接連結，外部再塗以白膠固定並做防水處理，最後再用防水熱縮套管一一套接，最後在整體套接以防水處理做最後的防水措施(圖二十)。



(圖二十)水下傳輸線製作

(三) 水下攝影機

我們使用了 Endoscope(防水型內視鏡)來當作水下攝影機，它的運作方式是將影像傳輸到 WI-FI 發射器再把影像傳輸到手機螢幕上(圖二十一)，但是因為它的傳輸的訊號沒辦法到太遠所以我們將會把 WI-FI 發射器留在岸上，接來下去小艇碼頭測試實際使用的情況如(圖二十二)所示。



(圖二十一) 防水型內視鏡



(圖二十二)實際水下攝影畫面

肆、研究結果

一、實用性探討

完成以上步驟後設計之子船、母船分開測試先於空氣中測試，再依序將子船投入水中測試，透過手動控制運行的期間，沉浮和移動方向以及配重都沒有問題，切換到電腦控制時也都沒有問題。但是實驗過程中發現因為裝水的容器不夠大，所以我們把裝置帶到海洋大學旁邊的小艇碼頭進行測試，如(圖二十三)所示。



(圖二十三) 實測場景

在測試時連接到子船的傳輸線太硬將會影響子船的移動。而母船測試過程也沒有問題，主要在於 PVC 水管支撐架結構的預浮力上來回測試調整後擁有足夠的浮力，防水盒的防水上蓋維持 2 公分的浮水距離，經搖晃測試也都沒有漏水和滲漏現象，線材的部分也有做好防水措施，在測試的過程中順便紀錄當時水上與水下的生態如(圖二十四)、(圖二十五)，基本上整體設計運作都可以正常運行。



(圖二十四)水上景象



(圖二十五)水下景象

二、製作成本探討

製作水下探測器的經費比市售的減少很多，經費如(圖二十六)所示。

	物品	價格(元)		物品	價格(元)
1	小籃子	20	12	三段式搖頭開關	55
2	防水熱縮套管	20	13	PVC水管	30
3	白膠	30	14	2.4G	352
4	珍珠浮材	50	15	繼電器接線板	210
5	9pin防水接頭	200	16	水下載具動力電池	430
6	電線	15	17	游標尺	70
7	防水盒	670	18	掛勾膠條	57
8	L行腳鐵固定座	10	19	束帶	50
9	螺絲螺帽	20	20	硬質膠合劑	185
10	十字開關	320	21	水下推進器	900
11	攝像機	590	22	總計	4284

(圖二十六)材料費

伍、討論

一、子母船運作

由於子船母船的配重整體都要平衡，所以將電池放在母船的中心，但這樣會使母船過重且難以平衡，所以我們採取在母船外裝 PCV 水管製成的骨架，且在 PVC 水管的兩側及底部加裝海綿，讓其保持平衡及給予浮力。

子船因為透過線纜連接至母船，在下水時會產生拉力，在海邊實測時發現兩端沒有保持平衡，所以在線纜另一端的海綿需要再增加。

實驗結束後，因為水下探測器的推進器接觸到水後且沒有立刻擦乾將其保持乾燥，導致推進器生鏽無法正常運作需要使用防鏽潤滑劑。

二、水下觀測

我們分別測試了無線 WIFI、WIFI 傳輸機、有線的攝像機，因為無線 WIFI 一到水下訊號就會變差且體積大，而有線的攝像機因為要用傳輸線連接到載具上所以不方便使用，最後我們決定使用 WIFI 傳輸機的攝像頭。

經過海邊測試後，發現子船體積較小所以容易被海水帶動，導致鏡頭會晃動無法對焦，所以在靜態水域下進行觀測較佳。

三、成本

在比價網站上我們搜尋到一台水下探測器的市價費用最便宜的價格約為台幣一萬五千元，如(圖二十七)所示。我們製作的水下探測器為市售價格的三分之一倍到四分之一倍。



(圖二十七)市售約一萬五 NTD (圖片來源：BIG GO 網站)

陸、結論

一、研究成果

本實驗透過 Labview 可以隨時切換由電腦輸或是由遙控器上之手動開關來操作輸出控制訊號，並且搭配使用 2.4G 無線遙控接收器實施遠端遙控的功能，手機可藉由 WIFI 傳遞器並搭配水下攝影鏡頭接收水下影像，達成了一簡易型水下生態觀測之遙控無人載具製作。過程中藉由學習邏輯思考設計、圖形化程式控制與設計、基本物理力學觀念和基本電路知識與開關等配合，重點是整體均搭配簡易的材料來完成此實驗設計。從概念發想到思考雛型設計、實驗過程之製作與規劃、實務的程式對應設計與碰到問題時的一一排除與解決，讓我們在此次科展作品中學到思維縝密的重要性。

二、製作水下探測器的建議

- (一) 我們可以把重的東西放在子船母船的中心點，並將兩側的浮力增加許多，就會保持足夠的平衡。
- (二) 母船因為子船的大腦，所以需要使用防水盒，在電線的部分需要防水所以就要用熱縮套管和防水接頭。
- (三) 攝影機因為會到水下所以訊號會變差，這時子船到母船的這段距離需要使用有線，而到母船上就可以使用訊號來傳輸影像。挑選攝影機時，盡量選擇體積小的。

三、未來展望

本實驗已經具備 ROV 的雛型與應用，但仍有許多功能可供改進，本實驗的未來展望如下：

本實驗為能夠下水約一公尺的無人水下探測器，若能將水下的物品拾取，就需要加裝機械手臂來進行夾取動作，但需要詳細設計手臂的安裝位置以及寫出相

對應的控制指令使其運作，但必需考量機械手臂運作過程對於水下載具的姿態平衡與穩定性。再者，水下攝影機所擷取之水下影像在螢幕上的更新頻率也需重新評量 WIFI 的傳輸頻寬，否則相對應的水下操作在手臂夾取期比較不會傳輸延遲的出錯，才能順利達成水下載具在水下作業夾取物件的試驗。

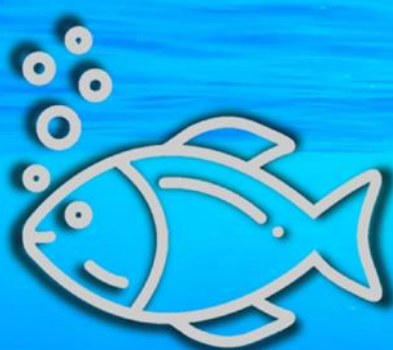
柒、參考資料

1. labrat scientific. (2019). *Underwater ROV - Home Built*. Youtube.
<https://youtu.be/WE6ODgQAxvU>
2. 曾季風. (2017, June 11). *峰樂器的樂器碎念*. 痞客邦.
<https://fengguitarshop.pixnet.net/blog/post/72628588>
3. 美國國家儀器公司. (2021, July). *LabVIEW*. 維基百科.自由全書.
<https://zh.wikipedia.org/zh/LabVIEW>
4. 林毅欽(2008)。 *LabVIEW 基礎程式設計及應用：3rd edition* 全華圖書公司
5. Creative Mind(2019). *How To Make A RC Submarine - From Plastic Bottles - Amazing DIY Projects*.from Youtube. https://youtu.be/8ATYNYx_P9w
6. Essential RC(2019). *HOW DO RADIO CONTROLLED (RC) SUBMARINES WORK ?* Youtube. <https://youtu.be/O0NUXnxgax8>

【評語】 052309

1. 本作品探討設計在水下移動的載具，加入連線子母船的概念，以與母船連線方式能遠端控制水下遙控子船載體，進行水下攝影。
研究主題尚稱明確，所欲完成的作品複雜及困難度高，目前作品已有初步功能，值得鼓勵。
2. 建議應針對水下載具之性能與攝影影像，建立量化評估基準，以彰顯作品的效益。
3. 計畫可對國內外相關研究進行了解，依據過去研究現況及目前可能獲得資源，提出可能創新的地方或較進步的功能，擬定設計製作的方向。
4. 報告書撰寫可再進一步強化。

作品海報



魚水相歡

— 以子母船的概念設計水下探測器 —

摘要

本作品為遠低於市價ROV的材料，設計出能在水下移動的載具，並且加入連線在式子母船的概念，來完成能遠端控制與觀察影像的水下遙控載體。首先設計子船和母船。並且藉由Labview設計出由電腦介面進行遠端控制的程式，再經由USB多功能 I/O 介面卡傳輸到無線訊號2.4G接收板，來進行遠端遙控。由切換的開關來改變操作的方式，可隨意切換成手動控制或電腦控制。經海邊測試我們達成無線遙控子船，水中沉浮前進動作，並成功在海邊由手機與WIFI傳遞器，搭配子船到水下攝影鏡頭接收到水下影像，達成一簡易型水下生態觀測之遙控無人載具。

研究動機

小時候很嚮往能下潛海水悠遊於大自然的懷抱中，卻因戲水過程中差點發生意外，導致我面對於海水時，產生莫名的海水恐懼症，但在學校的多元選修課程中，看到大學端的教授在介紹他們科系的課程內容時，對水下探測器這個特別的載具感到興趣，所以興起我們設計類似水下探測器的概念，就可以身體不用接觸海水又可身歷其境的方式，藉由水下探測器來觀察水下生態的念頭。

研究目的

- (一) 運用防水盒、防水馬達，設計出一台低成本的水下探測器。
- (二) 運用Labview寫出控制介面的程式，藉由電腦來控制水下探測器，除了由電腦控制外，也利用十字搖桿來完成手動控制，隨時可以切換控制的機器。
- (三) 運用連線式子母船的設計概念，亦即子船以線控方式連接母船負責水下航行工作，母船負責接收控制命令與傳送水下影像的方式，來達成操作者不用下水而又可無線遙控以及觀測水下生態，自製的水下探測器能在淺海的地方進行觀測

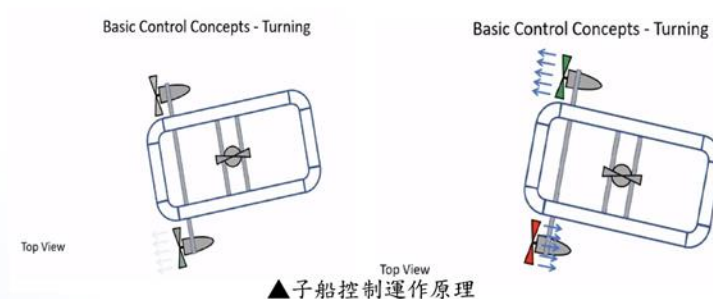
研究流程和設計

設計成能藉由無線傳遞控制訊號的水下探測器系統，且將研究主幹分成兩個部分進行：子船、母船，除此之外，我們也把控制水下探測器的方式分成：手動控制、電腦控制兩種，並分析出設計研究過程中會遇到的問題。



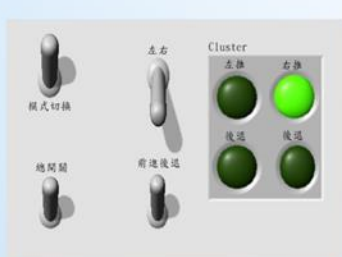
子船運作原理

探測器主要由水下推進器來進行方向控制與移動，當安裝於水下載具兩側的推進器同時且同方向啟動時，水下探測器便可往前移動或後退。

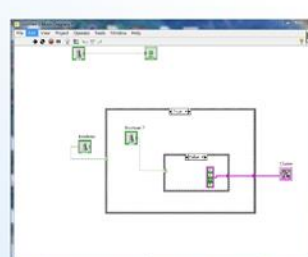


▲子船控制運作原理

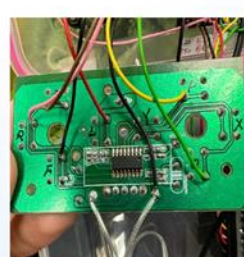
設計電腦控制的程式和電路設計



▲電腦控設計



▲背後控制程式



▲2.4G無線電路板(傳輸訊號)



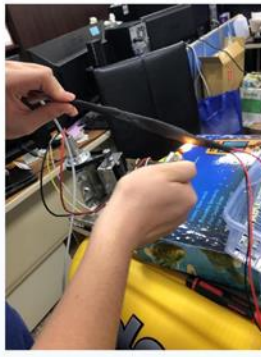
▲2.4G無線電路板(接收訊號)

防水措施

在水下的電線需要做到緊密的防水，所以我們使用熱縮防水套管將電線套起來後加熱就會自動塑形，包覆著電線達到防水的效果，最後透過防水接頭連接到母船。



▲將電線個別用防水套管套住加熱



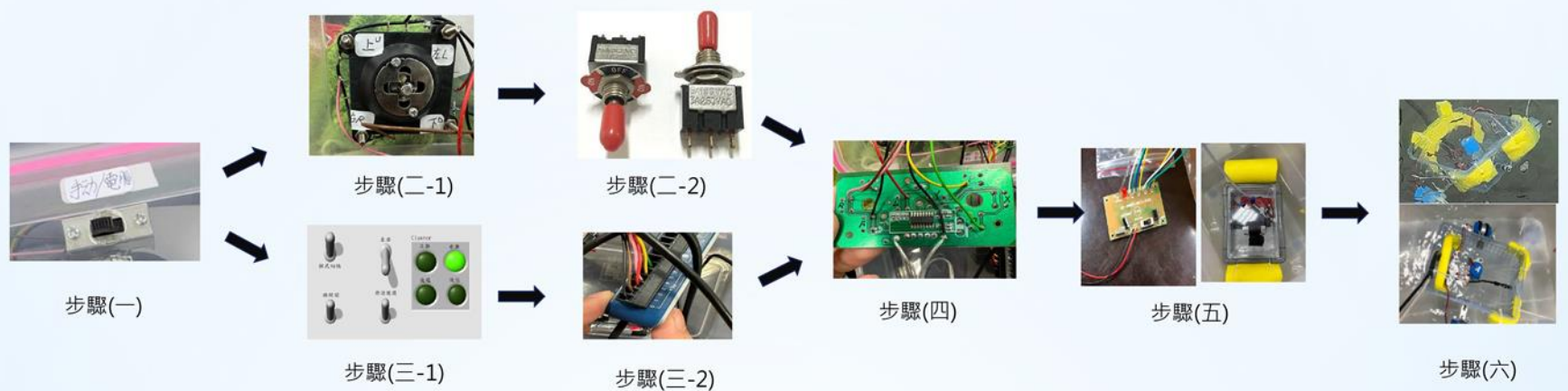
▲將所有電線再用防水套管套在一起



▲電線接到防水接頭

研究結果

操作流程:透過自製的遙控器可以選擇使用手動控制或是電腦控制，如步驟(一)，手動控制是透過十字開關和三段式搖頭開關，如步驟(二-1)、步驟(二-2)，而電腦控制是用LabView軟體來操作將訊號傳輸到I/O多功能介面卡，如步驟(三-1)、步驟(三-2)，兩者的控制方式都會將訊號透過2.4G無線傳輸板傳輸到母船上的2.4G無線接收板，如步驟(四)。母船在將訊號透過傳輸線傳輸到子船，子船就會接收到訊號，進行移動及沉浮，如步驟(五)、步驟(六)。



水下攝影

由子船上的攝像頭透過傳輸線連接到WIFI發射器，透過WIFI發射器將影像回傳到手機上。



▲子船上的攝像頭



▲ WIFI發射器



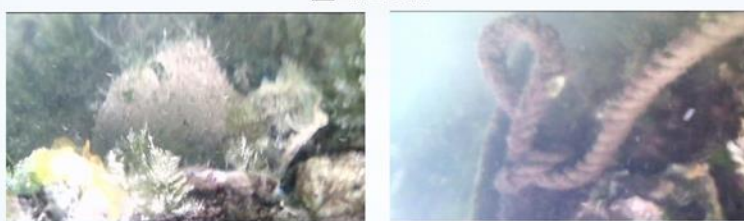
▲手機顯示鏡頭拍攝的景象

下水實測

做好防水措施後，我們將整個水下探測器帶到小艇碼頭實測，將其下潛至水下並測試移動的狀態。



▲海邊實測



▲實際水下攝影畫面

一、子母船運作

由於子船母船的配重整體都要平衡，所以將電池放在母船的中心，但這樣會使母船過重且難以平衡，所以我們採取在母船外裝 PVC 水管製成的骨架，且在PVC 水管的兩側及底部加裝海綿，讓其**保持平衡及給予浮力**。

子船因為透過線纜連接至母船，在下水時會產生拉力，在海邊實測時發現兩端沒有保持平衡，所以在線纜另一端的海綿需要再增加。

實驗結束後，因為水下探測器的推進器接觸到水後且沒有立刻擦乾將其保持乾燥，導致推進器生鏽無法正常運作需要使用防鏽潤滑劑。

二、水下觀測

我們分別測試了運動相機、WIFI傳輸器相機、有線的攝像機，因為無線WIFI一到水下訊號就會變差且體積大，而有線的攝像機因為要用傳輸線連接到載具上所以不方便使用，最後我們決定使用WIFI傳輸機的攝像頭。

影像傳輸: WIFI傳輸器相機 > 有線的攝像機 > 運動相機

子船合適度: WIFI傳輸器相機 = 有線的攝像機 > 運動相機

影像清晰度: 運動相機 > WIFI傳輸器相機 = 有線的攝像機

結論

一、研究成果

本實驗透過Labview可以隨時切換由電腦輸或是由遙控器上之手動開關來操作輸出控制訊號，並且搭配使用2.4G無線遙控接收器實施遠端遙控的功能，手機可藉由WIFI傳遞器並搭配水下攝影鏡頭接收水下影像，達成了一簡易型水下生態觀測之遙控無人載具製作。



▲市售約一萬五NTD

	物品	價格(元)		物品	價格(元)
1	小籃子	20	12	三段式搖頭開關	55
2	防水熱縮套管	20	13	PVC水管	30
3	白膠	30	14	2.4G	352
4	珍珠浮材	50	15	繼電器接線板	210
5	9pin防水接頭	200	16	水下載具動力電池	430
6	電線	15	17	游標尺	70
7	防水盒	670	18	掛勾膠條	57
8	L行腳鐵固定座	10	19	束帶	50
9	螺絲螺帽	20	20	硬質膠合劑	185
10	十字開關	320	21	水下推進器	900
11	攝像機	590	22	總計	4284

▲材料費

	市售	自製
光源	√	√
拍照錄影	√	√
遠端遙控	√	√
價格	高	低

▲自製與市售比較

二、製作水下探測器的建議

- (一) 我們可以把重的東西放在子船母船的中心點，**並將兩側的浮力增加許多，就會保持足夠的平衡。**
- (二) 母船因為子船的大腦，所以需要使用防水盒，在電線的部分需要防水，所以就要用熱縮套管和防水接頭。
- (三) 攝影機因為會到水下所以訊號會變差，這時子船到母船的這段距離需要使用有線，而到母船上就可以使用訊號來傳輸影像。挑選攝影機時，盡量**選擇體積小的**。
- (四) 製作水下探測器時，建議使用**子母船的概念**，因為直接控制的話防水措施沒做好，整台水下探測器會壞掉，而且需要吸水與排水，造成製作時的困難。再者，在水下時，訊號會變差導致接收不到影像。

未來展望

本實驗為能夠下水約一公尺的無人水下探測器，若能將水下的物品拾取，就需要加裝機械手臂來進行夾取動作，但需要詳細設計手臂的安裝位置以及寫出相對應的控制指令使其運作，但必需考量機械手臂運作過程對於水下載具的姿態平衡與穩定性，才能順利達成水下載具在水下作業夾取物件的試驗。