

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 工程學科(一)

(鄉土)教材獎

052315

水底紅塵起，山頭白浪飛

學校名稱：臺中市立臺中第一高級中等學校

作者： 高二 張丞儒 高二 陳冠志 高二 王稔凱	指導老師： 鄒東羽
---	------------------

關鍵詞：超音波、水中地形、立體建模

摘要

水中地形的探測多半傾向於專業領域方能觸及之項目，然而對一般學生而言，亦有可能需要使用水底探測的時機，成本考量與可行性將是一大挑戰。本研究旨在找出可能的辦法解決上述問題，並測試準確度。最終本研究利用防水的超音波感測器作為聲納掃描後，利用架設好的 server 回傳超音波數據，預處理後以立體模型的方式呈現出來。經由路面和水中實測並取得實驗數據，於結論中有詳盡資料測值，具有可視化的地形建模，和簡單上手的操作介面進行觀測，未來期盼能成為簡易且實用的探測儀器或改良原型，並能投入其他水上領域。

壹、前言

一、研究動機

組員們針對未知水域下的狀況非常有興趣，但面臨一些問題，像是光線無法清楚地到達水下，因此我們突發奇想用超音波去打探如何呢？接著沿著這個構想我們，好奇除了垃圾以外地形不也能由聲納去進行探測嗎？然而去閱讀複雜的訊息相當耗時且不方便，因此我們希望運用立體建模技術繪製完整的立體建模地形，並利用圖形化介面讓使用者更方便觀察。

二、超音波研究的目的

本研究的目的是利用自製的設備進行水下的地形探測，並開發使用者介面讓使用者直觀的了解地形狀況，並冀望通過完成以下成果達成上述的目的。

（一）建構探測船

船體改以浮板作為船底以及龍骨（浮板內建）改良穩定性，超聲波則由單音束改為多音束以提供數值的可校準性。

（二）利用 wifi 網路進行超音波感測資料傳輸

將於 Arduino 上的超音波感測器感測資料透過 wifi 傳回電腦，以利後續資料處理。其中，包含利用 TCP/IP 協議的晶片 esp8266 及非同步傳輸(UART)等協定跟 Arduino 及馬達等組件進行溝通與參數交換。

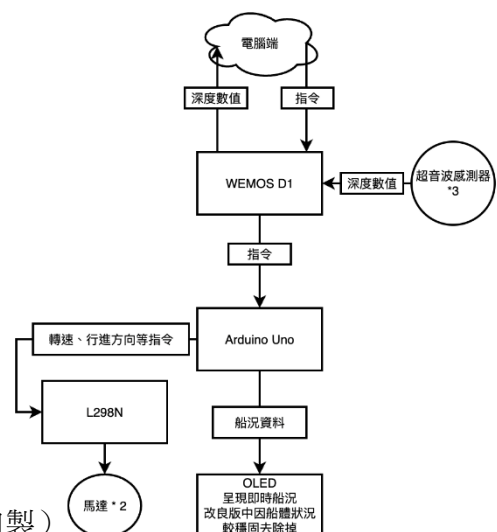


圖 1 傳輸流程圖（作者自製）

（三）地形渲染與立體建模

為建模地形圖，於先行定義平面座標後搭配超音波感測深度資料，以建構出 x, y, z 三維座標資料，其中超音波感測深度資料需進行波速與溫度校正。

（四）圖像化使用者介面開發（GUI）

為方便操控船速、水溫、聲納量測及呈獻 3D 地形成果，本研究建置圖形使用者介面，以進行探測器連線、操控船體、即時了解探測成果及調整參數，當然亦利於觀測資料儲存。

三、前人研究與文獻回顧

測量水底地形方法有使用單（多）音束超音波、磁力儀、重力波以及雷達地雷探測，有鑑於其餘方法的成本過高所以選擇超音波來進行實驗。而聲納探測也不是什麼全新的概念因此相關資料相當充足。首先針對「聲波」探測去切入，圖 2 出自過往全國科展之一研究中，該研究探討了水溫和溶液濃度對波速的影響，而我們所使用的超音波感測器 (JSN-SR04T) 所測量的是波來回的時間差，雖然自然環境水域存在一定程度的溫度差異，但因為差距極小所以我們選擇忽略。根據結果我們推測在小於 45 度可將溫度曲線視為直線進行運算，此外立體圖行的重點是相對高度而非絕對高度，因此以直線進行計算也能簡化算式。

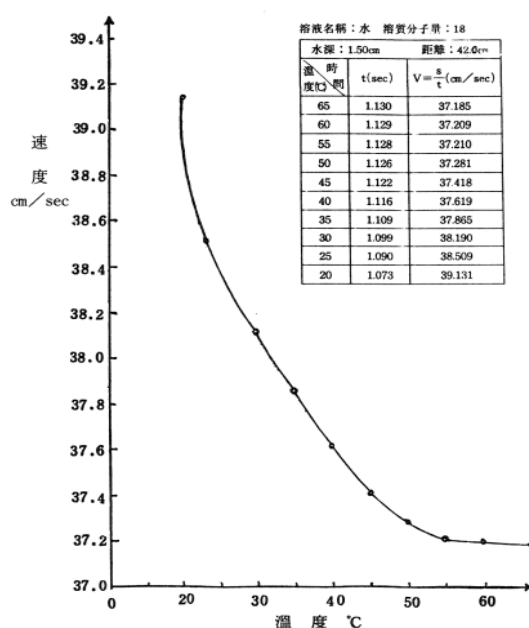


圖 2 波速-溫度關係圖（本圖引自全國科展 32 屆 液體波速的測量及探討）

網址：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/32/pdf/32m/001.pdf>

貳、研究設備及器材

一、探測船體設計

（一）設計理念

1. 這是本研究初步討論和修改的設計手稿，本研究前後製作出 2 艘探測船，分別為初代船——紅塵號以及改良船——白浪號，如圖 3 至圖 8。

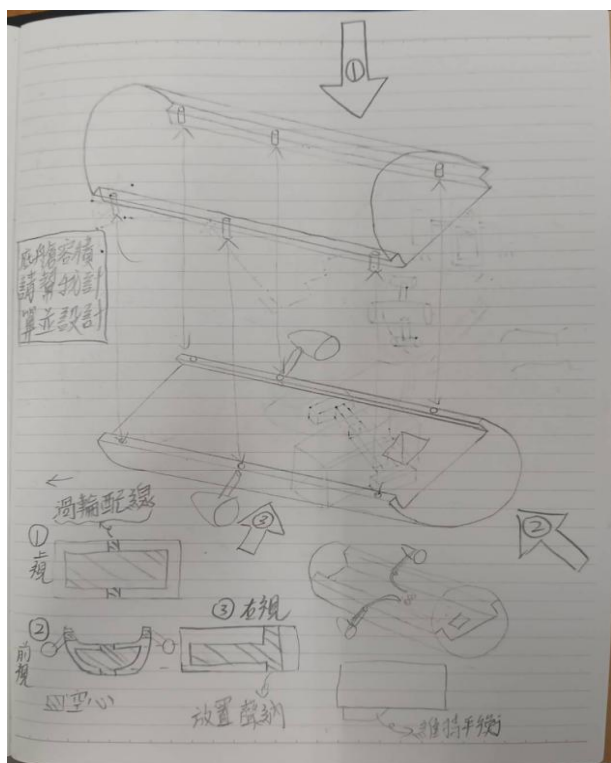


圖 3 紅塵號設計手稿手稿（作者自攝）

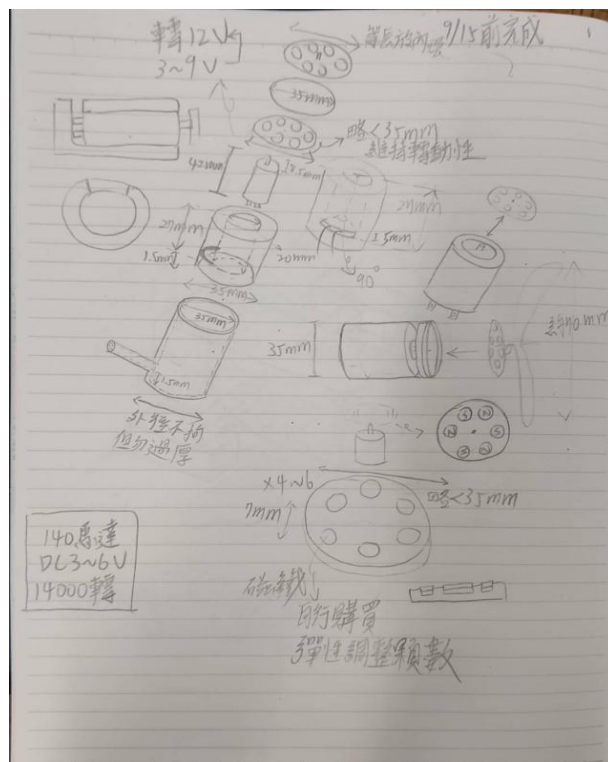


圖 4 紅塵號設計手稿（作者自攝）

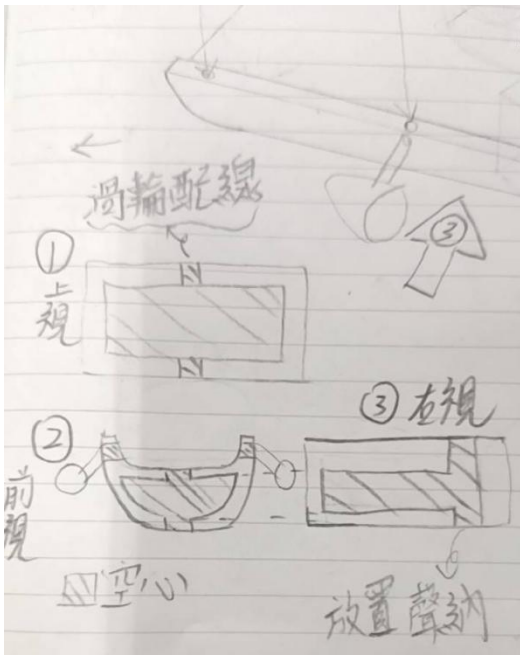


圖 5 紅塵號設計手稿（作者自攝）

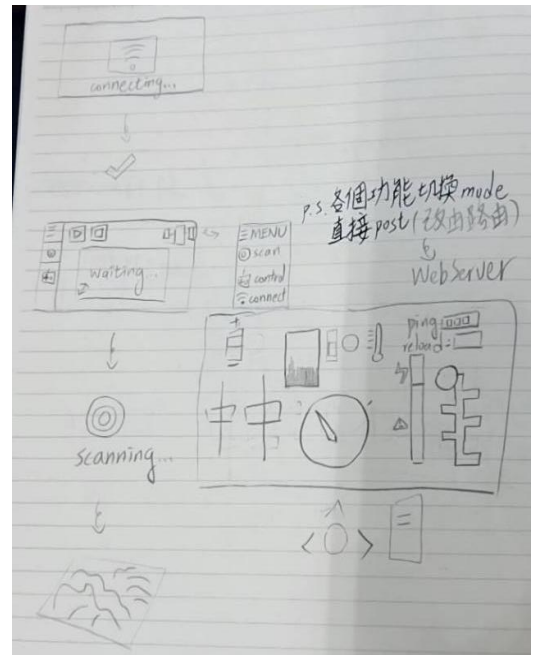


圖 6 GUI 設計手稿（作者自攝）

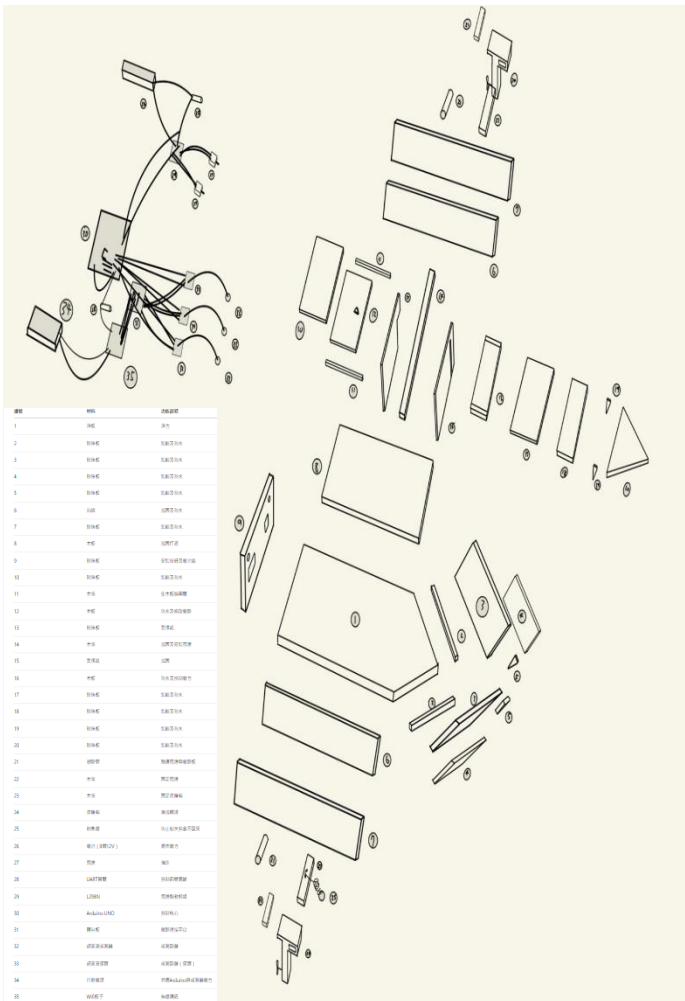


圖 7：白浪號爆炸圖

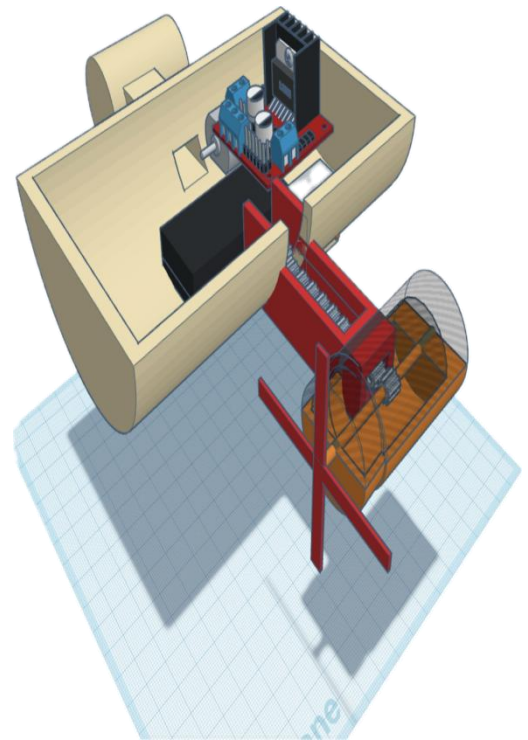


圖 8：初步設計建模（作者自行繪製）

二、探測船體之硬體建置

圖 9 為紅塵號用於游泳池實驗之測試版，圖 10 則是配合水況較差的自然環境（日月潭），將探測船的吃水加深增加穩定性，並加強推進動力以抵抗較快的流速。上述設備硬體清單表 1。



圖 9 紅塵號（作者自攝）



圖 10 白浪號（作者自攝）

表 1 設備清單（作者自製）

品項	型號	數量	規格	備註
Wifi 模組板子	Wemos D1R2	1	<ul style="list-style-type: none">● 微控制器：ESP-8266EX● WIFI 頻率：2.4GHz● WiFi 功率放大器(PA)：+25dBm● 工作電壓：3.3V● 數位 I/O PIN：11 支接腳● 類比輸入 PIN：1 支接腳● FLASH：4MB● Arduino 兼容● 板載 5V 1A 開關電源	負責傳遞測資

品項	型號	數量	規格	備註
馬達控制板子	Arduino UNO	2	<ul style="list-style-type: none"> ● 主要晶片：ATMEGA328P ● USB 線供電：5v ● 外接電源：7-12v，建議用 9v ● 數位輸入/輸出引腳: 14 個 ● 類比輸入引腳: 6 個 ● Flash Memory：32K ● SRAM：2k ● EEPROM:1K ● 頻率：16MH 	1.馬達控制 2.遙控接收
水溫感測器	DS18B20	1	<ul style="list-style-type: none"> ● 溫度測量範圍：-55~+125℃ ● 溫度測量精度：0.5℃ ● 工作電壓：DC5V ● 數字信號輸出 	
直流馬達	略	2		
馬達模組	L298N	1	<ul style="list-style-type: none"> ● 主控晶片：L298N ● 電壓：5V ● 驅動電壓：5V~35V ● 電流：0mA~36mA ● 驅動電流：2A ● 工作溫度：-20℃~135℃ ● 最大功率：25W 	
聲納	JSN-SR04T	1	<ul style="list-style-type: none"> ● 工作電壓：DC3-5.5V ● 工作電流：30mA ● 測量角度：< 70° ● 工作溫度：-10 ~ 70℃ ● 探頭引線長：2.5 M 	

品項	型號	數量	規格	備註
			<ul style="list-style-type: none"> ● 重量：54g ● 探頭頻率：40kHz ● 遠射程：600cm ● 近射程：20cm ● 遠距精度：±1cm 	
杜邦線 按鈕 單芯線 電池 自製小船 麵包板		略		其他

三、 探測船之操控與探測資料蒐集處理

軟體的主架構由 html 文本來描述並架構出基本功能，接著將其套入 electron 函式庫當中，並將預處理階段與運行過程的腳本設計好，使用 electron 的好處在於，可以用 localStorage 來儲存資料，能夠長期保存大量資料，並且以 json 物件的形式來儲存，也使其的原始資料更加便於調用與閱讀。本研究的前端部分已經是用相當類似 WEB 的框架去做設計了，再搭配含有 WEB Server 功能的 WEMOS D1 的板子去做聯繫，實作上變得更加方便，正如前面提到的可直接向 WEMOS D1 發出 SEND 和 POST 的請求，並選擇使用 Fetch API 在前端向 SERVER 調用實驗數據。3D 渲染的部分，首先我們先處理原始資料，因為回傳測資為「深度」，因此需要一個基準高度並減去各個深度後進行渲染，才會是較為直覺的地形模型。上述設備所用之軟體清單如表 2。

表 2 軟體清單（作者自製）

功能	
窗口介面	electron
程式設計	vscode Arduino IDE
函式庫	<p>後端：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ESP8266WIFI.h（架設 server） ● WIFIClient.h（回傳用戶） ● DallasTemperature.h（溫度感測器） ● OneWire.h（溫度感測器） ● Adafruit_GFX.h（OLED） <p>前端：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● jquery-3.6.0.js（更加方便的 selector） ● socket.io.js（聯繫 server） ● hightcharts.js（製作表格） ● Three.js（3D 渲染） ● App, BrowserWindow, ipcMain（from electron）

參、研究過程或方法

整體本研究過程如圖 11，依序為：

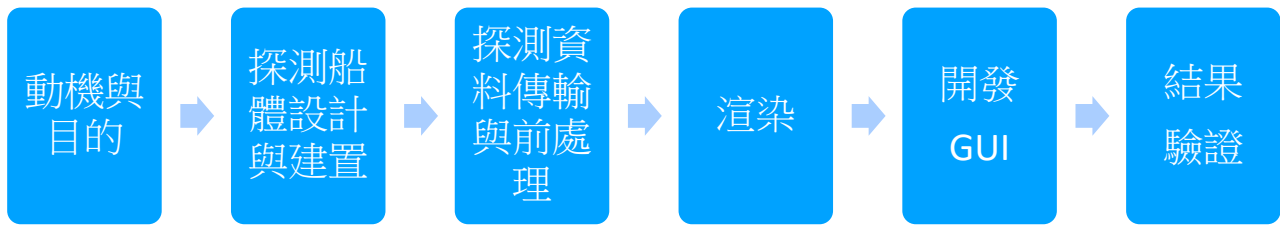


圖 11 整體研究架構

一、探測船體建置

(一) 馬達模組 (L298N)

這個模組提供簡單的馬達操作功能，只要控制腳位的電位一高一低，馬達便會轉動，交換兩個控制腳位的電位則能使馬達反轉，而兩側的腳位可向其輸出模擬電壓來調整轉速，如此便能使本研究的探測儀器於水面上移動到指定位置進行探測。

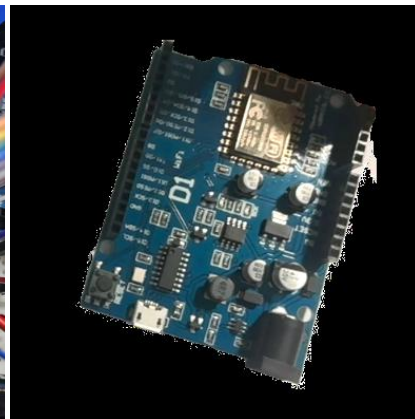
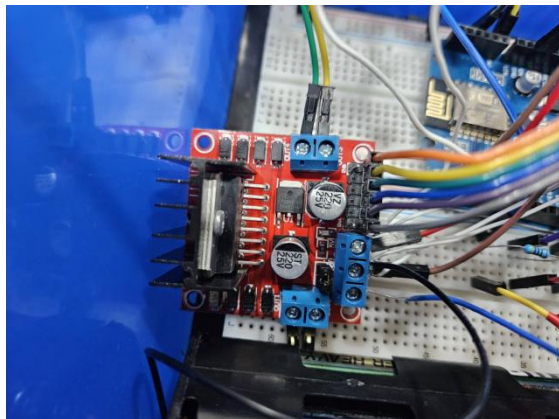


圖 12 L298N 模組（作者自攝） 圖 13 wifi 模組板子（作者自攝）

本研究利用這塊板子直接作為 server 使用，向它發送請求後，做出不同回應，收到 POST 請求於「/adjust」這個 route 時，便會將收到的新調整參數傳給負責馬達控制的板子（後面稱為 uno），板子和板子間採用 UART 串列通訊協議，且會在傳遞資料前向 uno 發送一個字元作為辨識指令的暗號，接著便傳送該指令所需要的參數給 uno。SEND 的應用，收到 SEND 的請求於「/get_data」時會向用戶端發送用戶所請求的資料，並將字串組合後以 json 的格式進行傳遞，「/deep」也是相同的，當用戶對該 route 發送請求時，server 端便會發送測量到的深度資料給用戶端。

（二） 超音波感測器（JSN-SR04T）

超音波感測器，為本實驗之重點，目前主流的探測方式為多音束探測，本研究使用三科超音波感測器來當作多音束探測，理論上單點能夠重複掃描最多至三次，這樣就可以比對各台的數據進行分析，但因為本研究的感測器僅有三台故取中位數作為該點深度，另外由於每台超音波感測器發出的波皆能由其他探測器接收，因此若是同時發波的話三台的數據將會是一樣的，因此每台感測器間隔 500 毫秒發波，以解決這個問題。另外由於水中的波速相較於空氣中非常的快（約為 4.4 倍），因此來回的時差會變得更小，這就導致超音波感測器的距離範圍會變得更狹隘（太近的距離無法測量，太遠則因為能量遞減的關係也測不到），但測試日月潭還堪用。

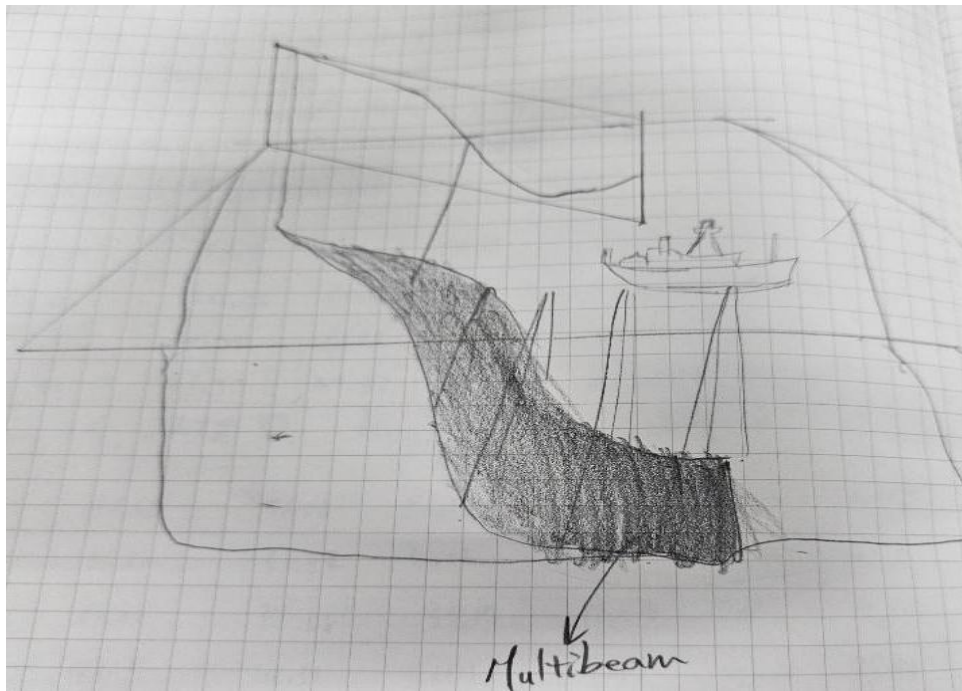


圖 14 多音束探測手繪概念圖（作者自繪）

二、探測資料傳輸與前處理

軟體開發的過程中我們利用了不同框架進行設計，以增加開發的效率，以下是我們有使用到的框架。圖形使用者介面的主體，我們選擇了 electron 這個開發框架，根據圖 7 敘述具有開源性和跨平台性質，更加可以推廣於各項裝置間合理公開使用。渲染方面我們找到了 Three.js 這個函式庫，操作時將座標(x, y, z)依序逐一填進陣列中，最後將陣列丟進函式便可完成渲染，而基本的打光材質也都能實現。

深度探測中使用的「distance()」函式，結合了參考文獻中的波速方程我們得出低溫時將溫度曲線視為直線的結論，並用以下直線方程式描述：

$$v = -0.0941T + 41.013$$

$$x = v(\Delta t / 1000000) / 2$$

註：秒數單位為微秒故除以 10^6 已轉換成秒，時間為去回時長因此為實際距離兩倍計算高度的方式為陣列中最大值依序減去各個子元素後便是該元素之高度。

三、渲染與立體建模

渲染前要先設定好模型的長寬比例與單位，渲染鏡頭的視野大約為 100 像素，故過大的數值需要等比縮放至 100，本研究的做是將最大值縮至 100 像素其餘等比縮小比例設定好後，並用得到的點以蛇行排列(Z 自型)繪製成圖，並在渲染圖框中呈現。然後利法用 localStorage，儲存檔案。在觀察渲染結果時可使用 X Y Z 軸以及縮放功能進行調整。

四、圖型使用者介面開發

(一) Connect Page

- 1.ip 搜索(ip 設定於 server 端)，於連線前須先確保裝置與 server 為相同網域，接著輸入伺服器端設定的 ip 於此頁面的輸入欄位，如圖 15。
- 2.聯繫探測器，用以判斷是否有成功連線，如圖 16
- 3.error-box 錯誤方框，提示連線錯誤
- 4.correct-mark，提示連線正確

(二) Control Page

- 1.速度控制器，用滑桿調整速率，其值可見於上方之方框

- 2.平衡調節器，用滑桿分別微調兩邊馬達的速度，用以平衡船體
- 3.速度表，顯示當前速度
- 4.深度溫度記錄圖，橫軸為溫度，縱軸為深度

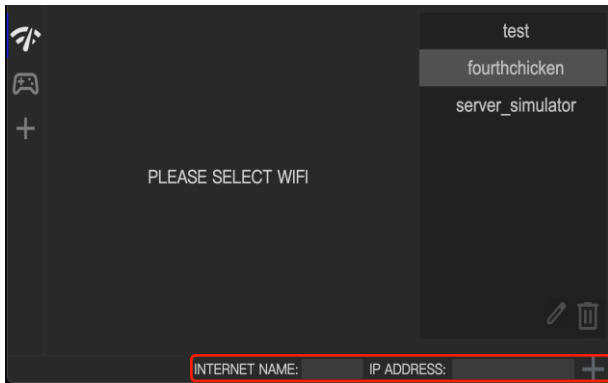


圖 15 Connect Page 介面 (作者自攝)

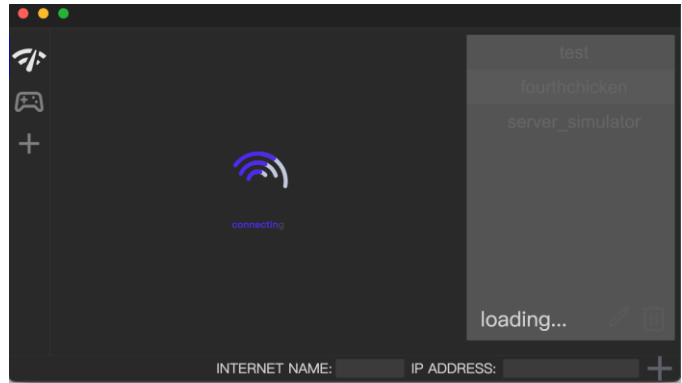


圖 16 Connect Page loading(作者自攝)

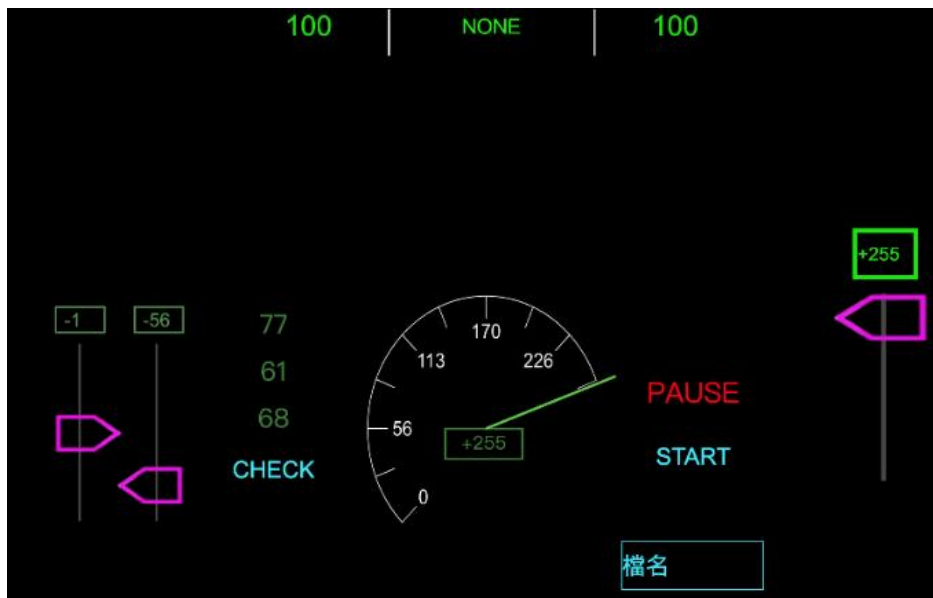


圖 17 Control Page 介面（作者自攝）

肆、研究結果

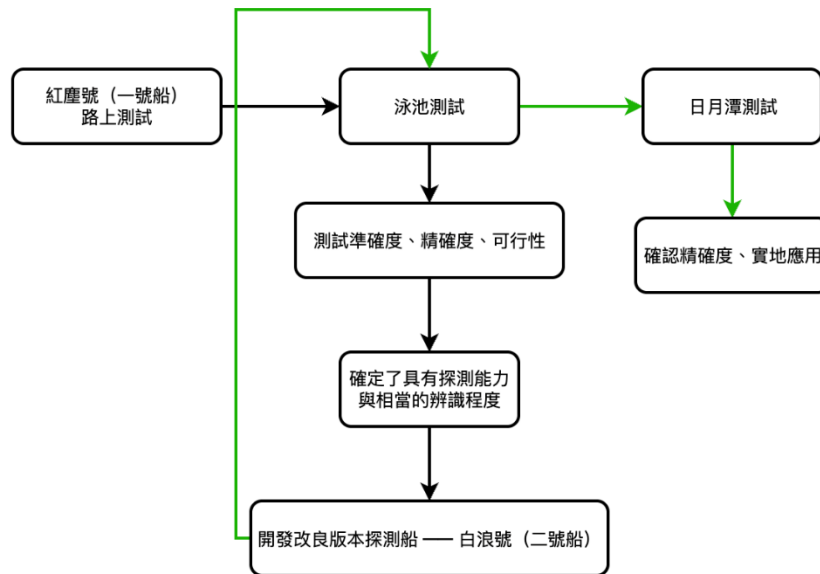


圖 18 實驗流程圖（作者自製）

一、陸地上測試：於下水前先利用至於路面上的突起物件評估超音波掃描的可行性

二、

（一）物件 1：寶特瓶：

本次實驗將解析度設為 6×6 ，可於模型中看到明顯凸起，表一兩軸分別為 x , y 座標而表中數字則表示超音波感測器回傳值，紅色部分，與周圍數值相比明顯距離與跟測器距離較近，換言之為地勢高處，也就是寶特瓶所在之處，黃色部分為數據明顯過處，綠色部分則為綿顯過低處。表二中我們發現在寶特瓶所在之處標準差相當低可見數據誤差在可接受範圍，然平地部分在表一中便可窺見一二，標準差確實顯現了該組數據的嚴重誤差，事實上於模型中也可發現本應為平地的寶特瓶周圍，出現了许多高低起伏。我們將此現象歸因於探測器本身並無發包持穩定於同一水平高度，故短期內（掃過寶特瓶的時間）能維持同一高度，數據較穩定，而長期（從頭開始到結束）則容易出現兩側數據不對等，理論上於水面上可解決這一問題，因此我們著手下一實驗。

表 3 實驗數據(作者自製)

65.51	62.91	61.17	59.43	64.18	57.34
48.77	50.47	51.11	50.62	52.73	52.34
46.81	46.5	42.86	39.67	40.76	40.91
43.57	45.18	47.08	46.92	38.76	40.21
44.1	44.19	37.27	36.61	37.32	41.85
38.1	39.52	39.25	40.56	39.25	41.69
		平均		標準差	
寶特瓶所在處		41.05		1.33	
地面		48.73		8.46	

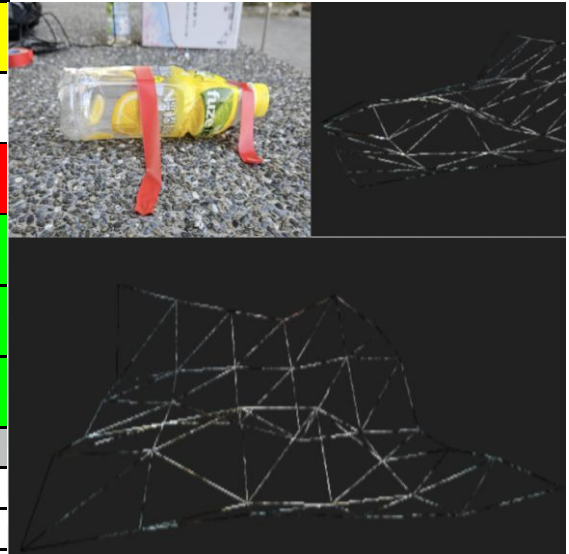


圖 19 寶特瓶測試結果 (作者自攝)

(二) 物件 2：模擬盆地：

本次實驗用磚頭模擬盆地地形，解析度則設為 7×9 同樣能於模型中觀察到晰凹陷，然而盆地佔地面積較大因此本研究貼點去進行定位，在水上則計畫於岸邊進行定位。表格與模型中紅色部分為地勢高處，而表中黃色部份則為測資與實際狀況不符且過高處，綠色則為過低處。表二紀錄了數據平均與標準差，兩項數據顯示兩平均距離明顯不同之下數據的離散程度並未相去甚遠。地勢高處理論高度應相同，而地處亦然，相對於，因此數據可信度更高，模型中也更能看出盆地地形，算是成功的一次實驗。

表 4 實驗數據（作者自製）

116.24	115.76	115.84	115.33	114.62	113.66	112.85	112.97	111.52
106.08	101.72	99.33	99.44	100.51	108.21	101.54	110.73	112.61
110.74	107.56	99.19	98.93	100.17	101.73	98.66	98.94	101.99
108.09	100.00	97.69	98.02	98.91	100.21	98.50	98.55	110.26
103.52	96.68	98.36	99.70	99.69	100.29	100.91	110.65	110.31
113.30	112.44	99.72	99.28	99.40	99.95	100.29	103.95	111.08
112.80	113.68	114.81	114.85	114.88	115.10	115.19	115.17	114.66
			平均值			標準差		
地勢高處			112.42			3.66		
地勢低處			101.13			3.92		

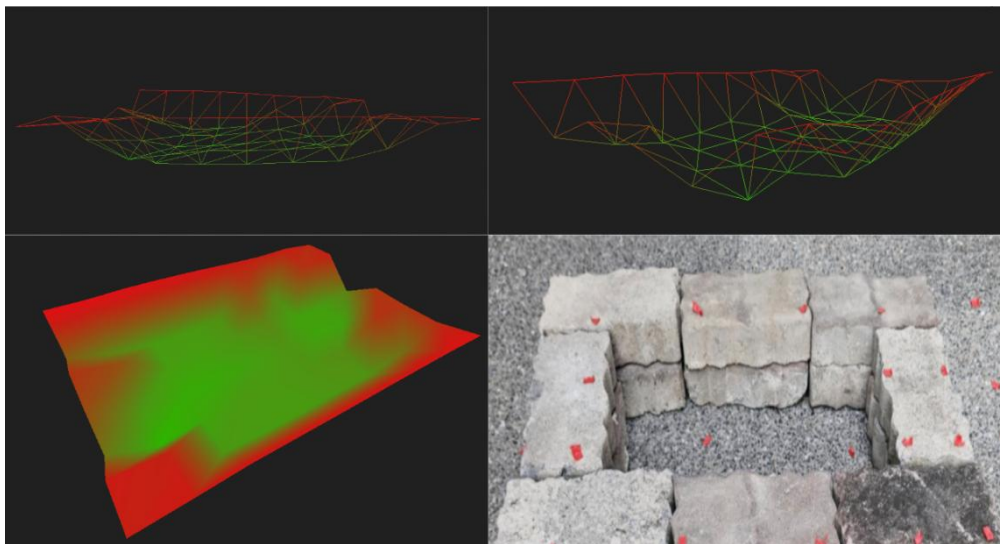


圖 20 模擬盆地測試結果

三、水下實際測試

水下參數我們實際做實驗後發現與文獻參考有所出入，在前面我們使用線性關係去描述水溫與波速的關聯，故我們僅於常數多乘以 0.44 以校正數據，使其更貼近於實際泳池深度而單位依舊使用公分。

（一）模擬小山：

我們用石膏做出一個小山模擬水中的凸起的地形，水中的測試我們一共測試了十二次才出現一個看起來類似凸起的模型，這樣的成功率不甚理想，推測是水中波速較快，波與波之間的時長相對短，因此誤差會被放大以至於檢測數據易受影響。以下是較為成功的數據，紅色是地勢高處，黃色則是地勢低處明顯過高的數據。小山並不是水平的平面，故不計算平均與標準差，而地面的數據，受到兩格嚴重的影響，雖然因為相對高度仍和地勢高出相去甚遠，然與平地對比亦導致標準差超標。

表 5 實驗數據（作者自攝）

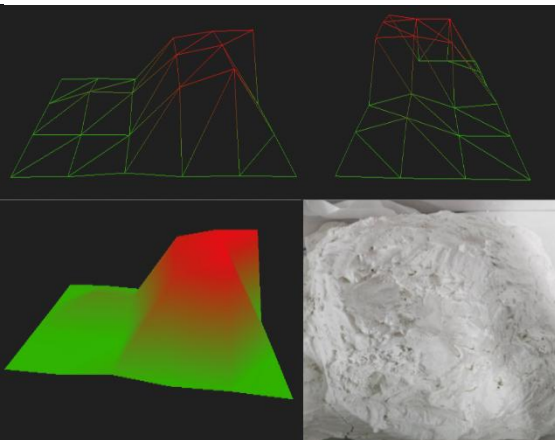
1.11	2.41	0.96	7.01	0.96	0.38	
1.04	105.59	78.47	0.87	1.04	1	
1.05	105.45	89.69	22.77	25.62	2.46	
101.44	99.35	86.88	4.74	6	4.69	
			平均	標準差		
平地數據			4.95	7.53		
去除黃色部分的平地			2.05	2.14		

圖 21 小山模型測試結果（作者自攝）

（二）模擬盆地：

本實驗使用教學椅擺出「冂」字形當作是水底盆地的模擬，這次實驗僅作三組便成功，可見地形特徵明顯與否（較寬）與成功率息息相關。此處仍呈現成功數據於下方，黃色為地勢低處明顯過高的錯誤值。紅色則為教學椅之所在。從表二可以發現教學椅的數據可信度較高而地面的數據在平均為 8.41 的情況下標準差竟然來到了 7.55，但將數據表格化後，便發現了有一個數據不太合理，我們懷疑有機會是掃到不明障礙物（有可能是下圖中出現的腳），但在去除該資料後重新計算的標準差仍為 4.22 可見地面的數據確實不太可靠。



圖 22 接收資料（作者自攝）

表 6 實驗數據（作者自製）

2.96	2.43	2.31	0	3.33	2.05	2.96
56.84	61.45	57.66	58.4	53.84	50.74	4.25
6.93	59.38	57.66	57.99	57.99	58.05	56.12
6.66	6.29	7.45	40.02	6.25	7	59.45
7.42	9.42	5.77	8.45	7	7	62.11
58.45	63.27	62.81	63.23	56.97	54.75	63.32
98.23	78.89	64.66	61.42	63.27	62.4	64.86
14.21	14.21	12.65	13	13.25	14.44	66.16
		平均		標準差		
地勢高處		61.74		8.65		
地勢低處		8.41		7.55		

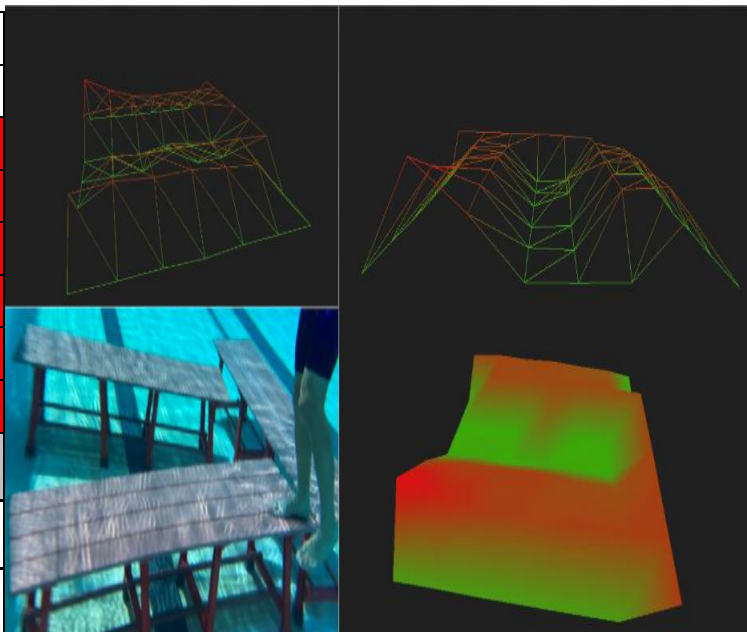


圖 23 模擬盆地測試結果 (作者自攝)

四、日月潭測試

藉由先前的成功經驗，本研究所開發之探測船探測能力具一定信服能力，我們在無法得知日月潭真實地貌的情況下，選擇於同一地點進行十次探測，一方面可以對數據進行校準，另一方面也能測試探測船的精確程度，為此我們針對探測數據作出以下分析：首先我們先將各個數據以散佈圖呈現出來，資料分析後，再進行渲染。

（一）地點一

1. 實驗過程：

表 7 實驗數據

115.5984	136.5127	115.5806	73.6804	86.9594
117.7861	84.2269	95.5625	96.5811	92.5286
70.3032	66.5139	65.8004	106.3365	94.5176
43.9204	73.1575	78.5832	66.7529	90.0066
71.5482	98.3170	94.0579	69.5725	88.5829
7.8807	58.9506	77.5413	126.7354	74.6704
89.1603	0.0193	0.0000	0.0413	0.0166

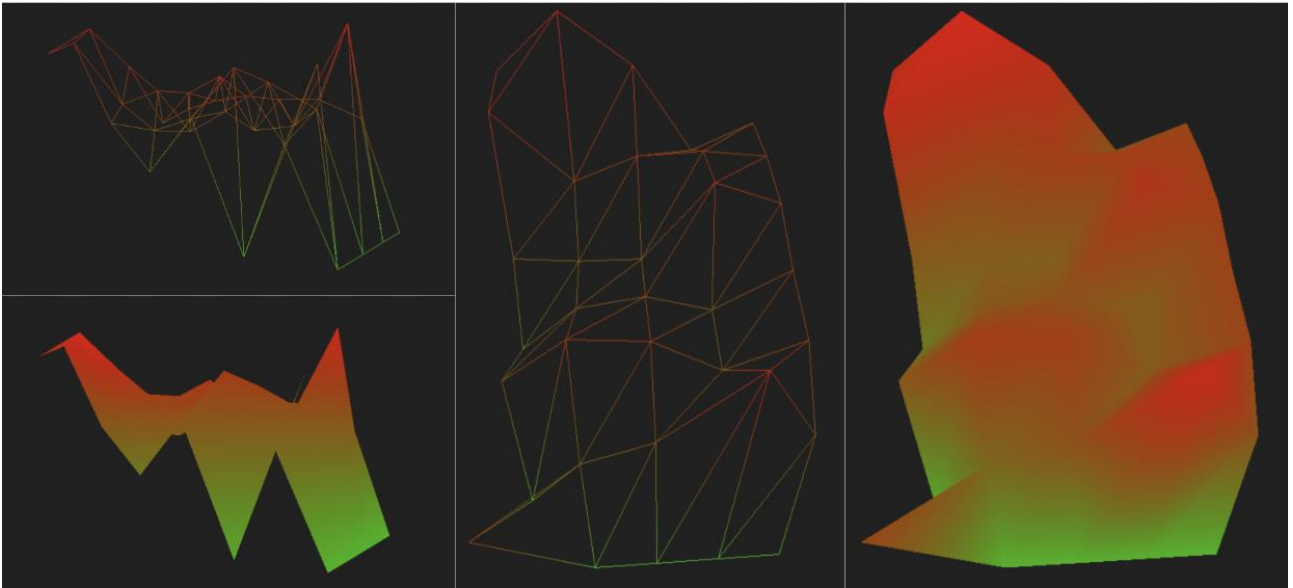


圖 24 日月潭模擬盆地測試結果

2.資料分析

本研究於挑點過程中發現某些地點會出現點過於分散或是點集中於兩條高度上，這兩種的數據都難以判斷實際深度，換言之該地點之探測並未成功且精準度不足，表五中紅色格子為測試失敗之座標點，探測失敗的點分佈在左右兩側，即為白浪號（第二艘探測船）轉彎之所在，由此推測轉彎時難以停留於同一點。本研究將測試失敗的點以內差法補足，有鑒於轉彎處的測試值可信度低，僅參考非轉彎處之資料表五中標示了各點參考的比例，表五則標示了各次測試使用的資料數量，第九次和第十次測試採用的次數特別低，於此兩次測試中受到影響的機會很高，例如當時風浪特別大，或是該次操作上存在瑕疵等因素。我們以 x, y, z 軸為基礎在日月潭進行了十次的測量，並將同 (x, y, z) 軸的資料依照 x 軸（測量次數）與 y 軸（測量深度）分別作為橫縱座標，繪製散佈圖。

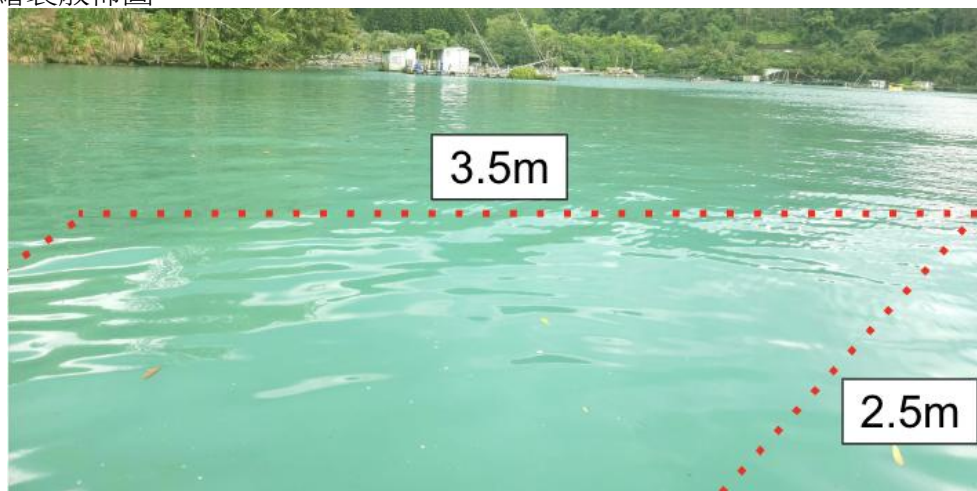


圖 25 日月潭量測範圍

(1) 高度相關

所測量的數值大多相同，基本代表我們的測量結果基本準確。我們在綠色點之中取平均值來代表這個點的測值。

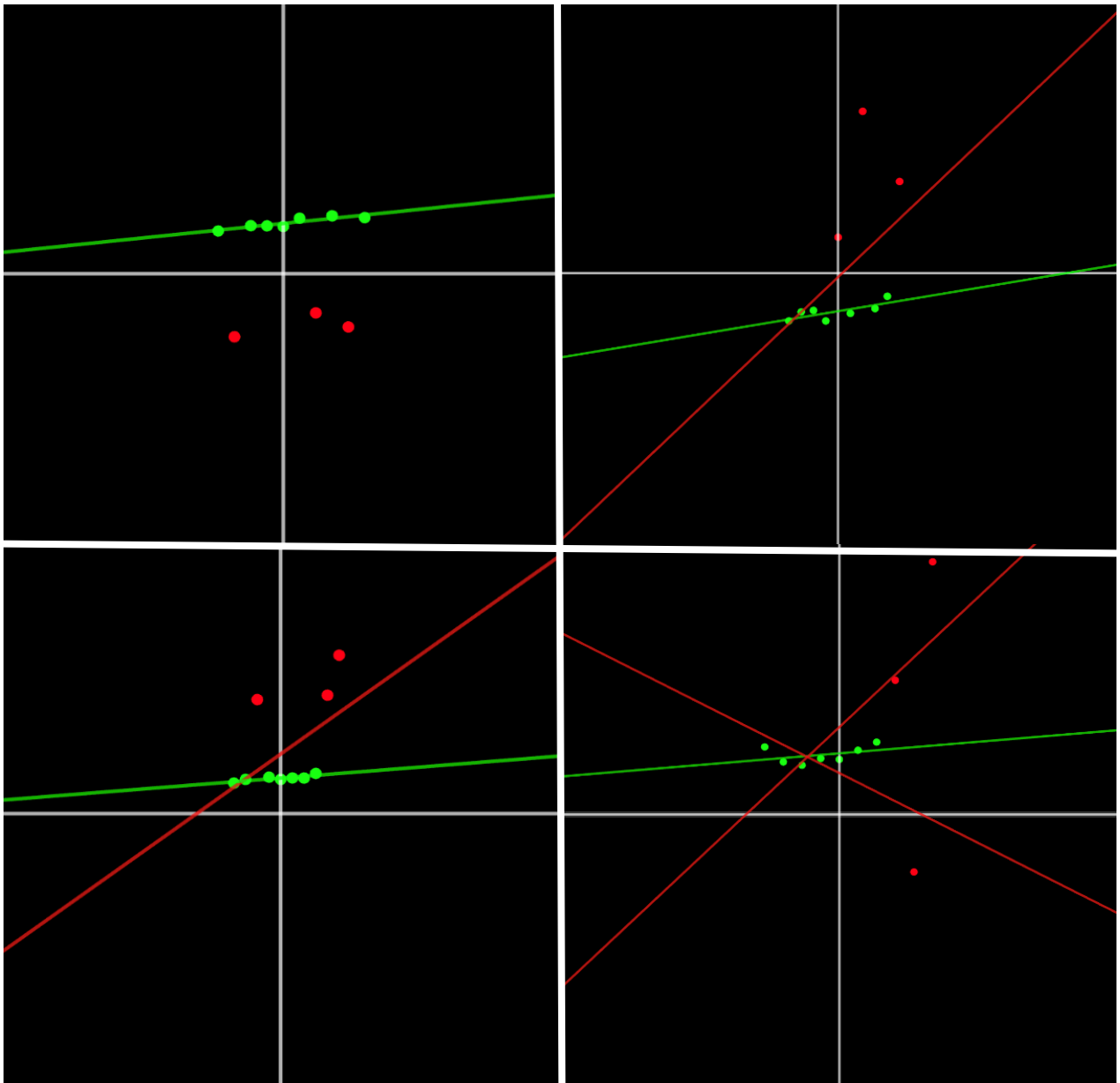


圖 26 高度相關散佈圖

(2) 低度相關或無相關

所測量的數值非常離散或者分成 2 至 3 個以上的不同高度，以至於無法辨識或計算其深度。

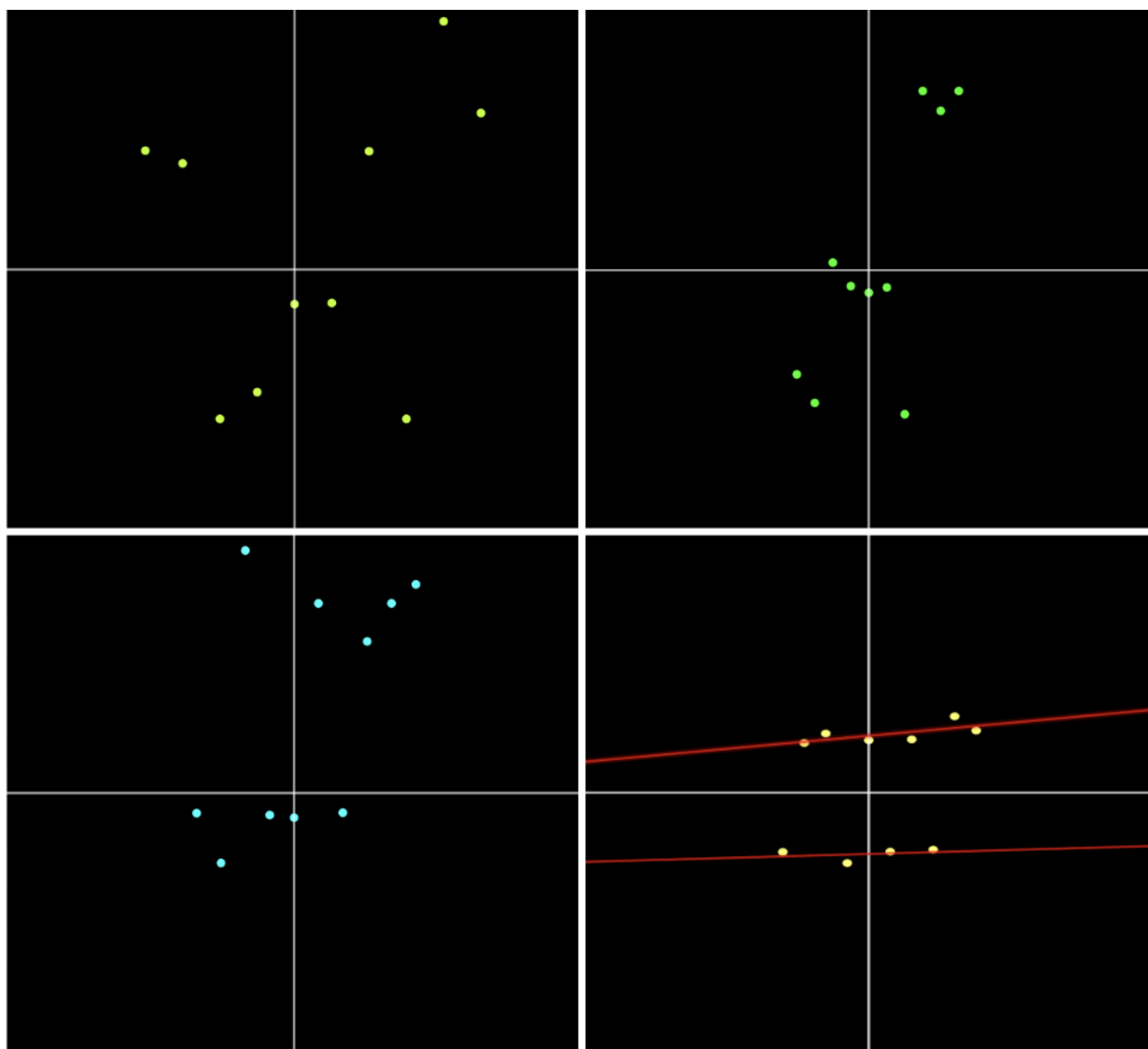


圖 27 低度相關或無相關散佈圖

各個測試保留點數量		
測試一	15	29
測試二	22	29
測試三	16	29
測試四	21	29
測試五	22	29
測試六	18	29
測試七	18	29
測試八	14	29
測試九	11	29
測試十	8	29

表 8 各測試保留的點之數量

(二) 地點二

地點二嘗試僅做五次測試，下圖為散佈圖的結果，可以發現五次測試難以看出較有象徵性的集中點，由此推測目前探測的精細度不足，十次測試為目前研究找出之極限測試次數。

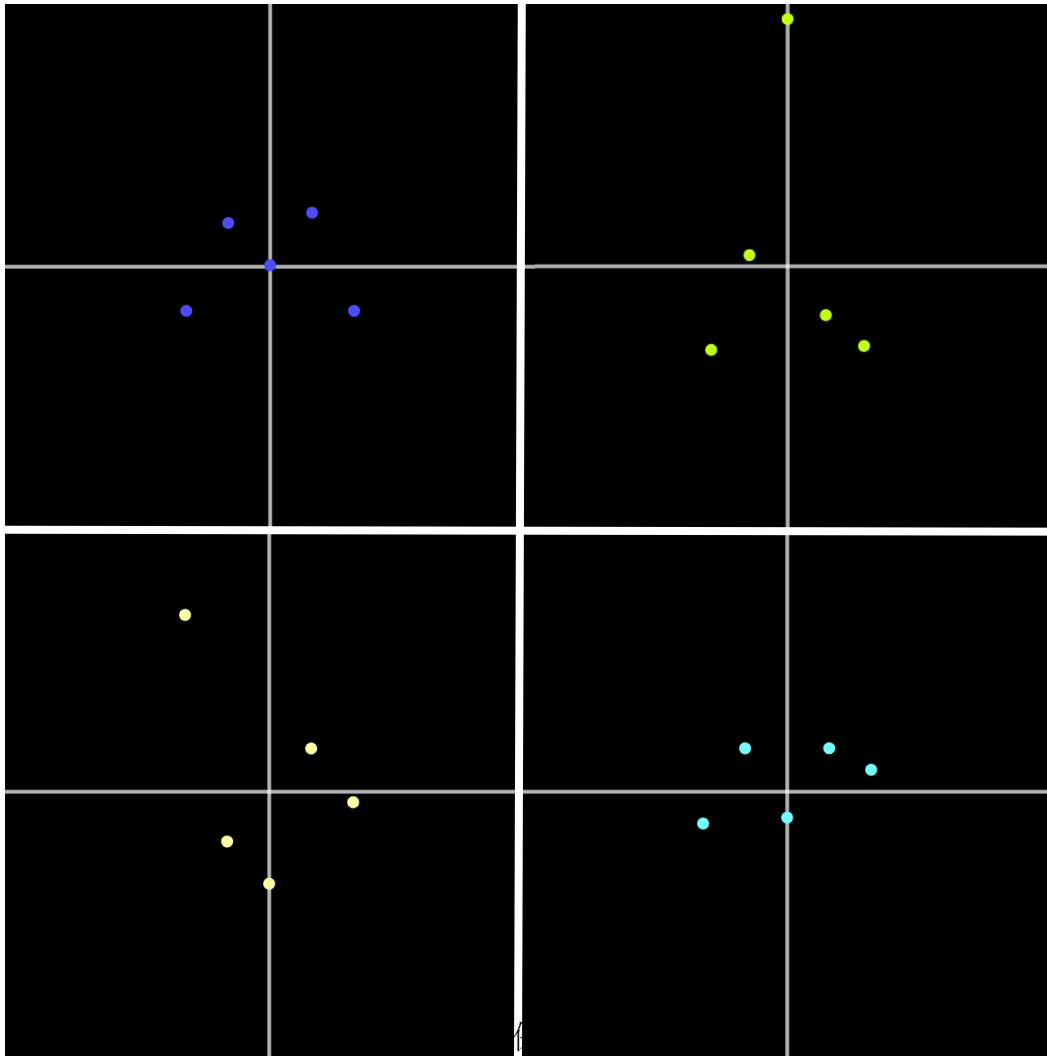


圖 28 地點二測資分佈.

伍、討論

一、資料分析

各個測試當中，無論先前陸地上的測試亦或是放入水中後的數據都會在平地，也就是地勢低處（通常數據應全部相等）出現問題，路面上有可能是因為不像在水面上可以維持固定高度，因而導致同平面數據高度不同，這個問題到了水中稍有改善，基本上都是受到少數極端資料影響，不像路面上的測試是明顯的凹凸不平，至少在模型中，是能清楚辨別為平地。此外，因為模型會等比縮放，所以在地勢起伏較大的情況下平地的不平整及實驗誤差都將被縮小，反之則會使誤差值嚴重影響到模型的辨識難度，值得慶幸的是剩餘測資的標準差相對於其高度而言，都算相當理想，我們認為 Z 字形的掃描方式確實是可行的。

二、改良方向

（一）精確度

以上的測驗資料並稱不上是相當精準，然水面上無可避免的會出現水波或是風的影響，也許能找出其他方式去規避或者依靠計算排除這方面的誤差，另外就是儀器的測量極限了，水下較快的波速會放大儀器誤差值並誤導原始資料的判讀，另外 Z 字形的掃描方式於湖泊中或許可行，然對於水流相當湍急的台灣河道而言，則需另尋他法了，但我們並未將此作為研究重點故將其計入精細度的範疇，作為未來能夠進步的目標之一。

（二）自動化

本次作品尚只能由操作者一一操控駕駛，接著希望可以開發在行駛之前預設好路線進行自動駕駛，並自行校準航行軌跡。（目前已有概念雛形）

（三）風浪影響

因為風浪的影響造成船體的左右晃動，導致測試點測資飄移，推測可能為搖晃造成掃描地點不同。接下來會前往泳池進行對於風浪的校準。

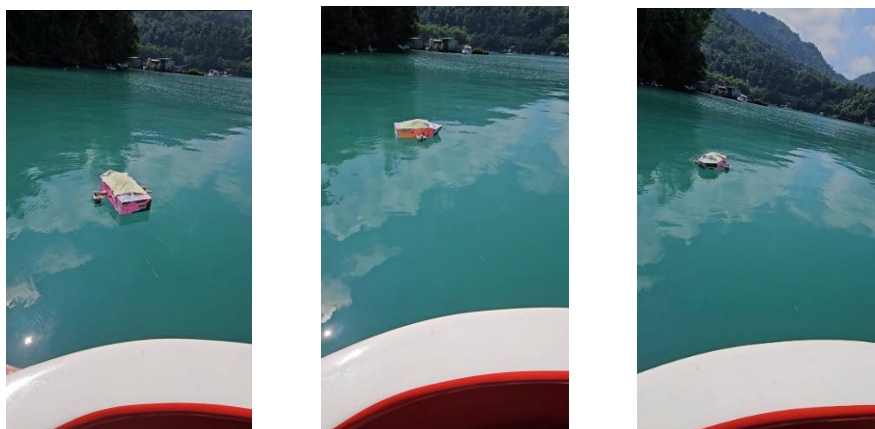


圖 29 實驗過程 (作者自攝)

陸、結論

一、結論

本研究旨在簡化水下探測過程，我們完成了大部分的研究目標，且在過程中面臨了諸多挑戰，這些挑戰也使我們更加深入去思考各種改良方向，雖未全部成功且經過測試後的成功率不甚理想，但在規模足夠龐大的情況下是能測出貼近現實情況的測值。

在一些測試中，我們成功把測驗次數壓在五次以內，足以作為一定程度的依據證明探測的可行性，與測驗資料的可信度。

另外我們也開發出G U I 來操作整個探查過程，同時於該介面中能直接觀察，經過計算後渲染成立體的地勢高度，相當於將整體探查經過接涵蓋於該介面中，並以直觀方式去呈現，若將上面改良方向進行改善距離理想成果就不遠了。要降低探測成果除打包研究過程為一體外，亦需要抑制成本，本專案並未使用貴重探測儀器，總成本甚至未達壹仟伍佰元，所使用的框架也是開源的，無需任何額外的費用便可使用，低成本的另一個好處便是——在難以預測的水上環境中，可以減少對於器材的損毀所造成無法估量之損失之擔憂。

3D 渲染的部分則相當成功，能夠清楚且忠實地呈現研究結果，然上色部分須於後台調整參數，目前並無提供主動去為不同高度進行上色的功能，這是因為在地勢起伏較小或是測驗目標中沒有明確指標物時，分層上色並無法使立體模型更加易於辨識，因此僅在上面呈現結果時為了強調不同物件而進行上色。

二、未來展望

（一）沿海地區

- 1.沿岸漁業：可觀測水底狀況，避開大幅度地勢凹陷或其他特殊地形，所造的意外，其他多數水上活動，也有一樣的效果
- 2.港口與航道的維護：用以測量小型港口與行水道的水深以及是否有障礙物以提升航行的安全
- 3.生態環境的檢測：可用於紅樹林、潮間帶與珊瑚礁的地形變化

（二）內陸地區

- 1.湖泊與溪流：偵測水深以及水道的淤泥情況
- 2.水庫保養：監測水庫底部淤泥情形以及地貌變化以確保水下的穩定性
- 3.養殖漁業：觀察水底地形（泥巴）變化以及水草生長情況

(三) 投入其他研究

基於開源性原則，此專題於未來亦可合理應用於各個研究當中不受約束

柒、參考文獻

Threejs 可視化 (2023) threejs 山脈地形高度可視化原創。

<https://blog.csdn.net/u014291990/article/details/135013891>，第一頁。

OxxoStudio JavaScript 同步延遲(Promise + setTimeout)。

<https://www.oxxostudio.tw/articles/201706/javascript-promise-settimeout.html>，第一頁。

King Tzeng (2019) [Day 18]-用 JS 控制 Arduino 吧！視覺化溫度資料 Highcharts + Socket.io + Johnny Five - 溫度器 Thermometer。

<https://ithelp.ithome.com.tw/articles/10224046?sc=rss.iron>，全。

horace Karma (2022) Esp8266 AP server - Networking, Protocols, and Devices - Arduino Forum。

<https://forum.arduino.cc/t/esp8266-ap-server/969761>，第八個回應。

WeMos D1 R2 開發板。

<https://hk.botsheet.com/product/wemos-d1-r2/>，「程式範例」章節。

WokwiMakes (不詳) Wokwi Animator。

<https://animator.wokwi.com/>，使用該網站提供之提供動畫。

Julie Park (2018) Daily UI#011 | Flash Message (Error/Success)。

<https://codepen.io/juliepark/pen/vjMOKQ>，使用其片段程式。

黃東興、陳光覺、鄭淑宜 (1992) 液體波速的測量及探討 - 國中組物理科第一名。

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/32/pdf/32m/001.pdf>，節錄第四頁圖片。

IceCreamYou (2024) A procedural terrain generation engine for use with the Three.js 3D graphics

library for the web.

<https://github.com/IceCreamYou/THREE.Terrain>，全。

WikiPedia (2017) JQuery。

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/JQuery>，參考用法頁面。

lakshMotor Driver (2021) L298n | Arduino Project Hub。

<https://projecthub.arduino.cc/lakshyajhalani56/l298n-motor-driver-arduino-motors-motor-driver-l298n-7e1b3b>，全。

WebGL: 2D and 3D graphics for the web - Web APIs | MDN。

https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebGL_API，全。

reZach (2020) How to use preload.js properly in Electron - Stack Overflow。

<https://stackoverflow.com/questions/57807459/how-to-use-preload-js-properly-in-electron> ,
回覆一全部。

Window: fetch() method - Web APIs | MDN。

<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Window/fetch> , 全。

Loader three.js docs。

<https://threejs.org/docs/#api/en/loaders/Loader> , 全。

MeshStandardMaterial。

<https://threejs.org/docs/?q=meshst#api/en/materials/MeshStandardMaterial> , 全。

【評語】 052315

1. 本作品主要討論水下探測的應用，值得鼓勵。
2. 建議應檢討相關環境因素，例如波浪與船體晃動對於量測所造成誤差等，考量對應補償等方式與實施驗證，以進行誤差修正。
3. 建議應進行資料之統計與誤差分析。
4. 作者到日月潭進行實測，有一些初步量測成果，應該持續精進與驗證。

作品海報



水底紅塵起，山頭白浪飛

摘要：

水中地形的探測多半傾向於專業領域方能觸及之項目，然而對一般學生而言，亦有可能需要使用水底探測的時機，成本考量與可行性將是一大挑戰。本研究旨在找出可能的辦法解決上述問題，並測試準確度。最終本研究利用防水的超音波感測器作為聲納掃描後，利用架設於船上面的server回傳超音波數據，預處理後以立體模型的方式呈現出來。經由路面和水中實測並取得實驗數據，於結論中有詳盡資料測值，具有可視化的地形建模，和簡單上手的操作介面進行觀測，未來期盼能成為簡易且實用的探測儀器或改良原型，並能投入其他水上領域。

研究動機：

組員們對未知的水下世界頗富興趣，因此我們突發奇想用超音波去打探水底，沿著這個構想我們想以此一窺水下地貌，然而閱讀複雜的實驗數據相當耗時不便，因此我們希望運用立體建模技術繪製出水中地形，並開發出G U I圖形使用者介面讓使用者便於操作。

設計圖：

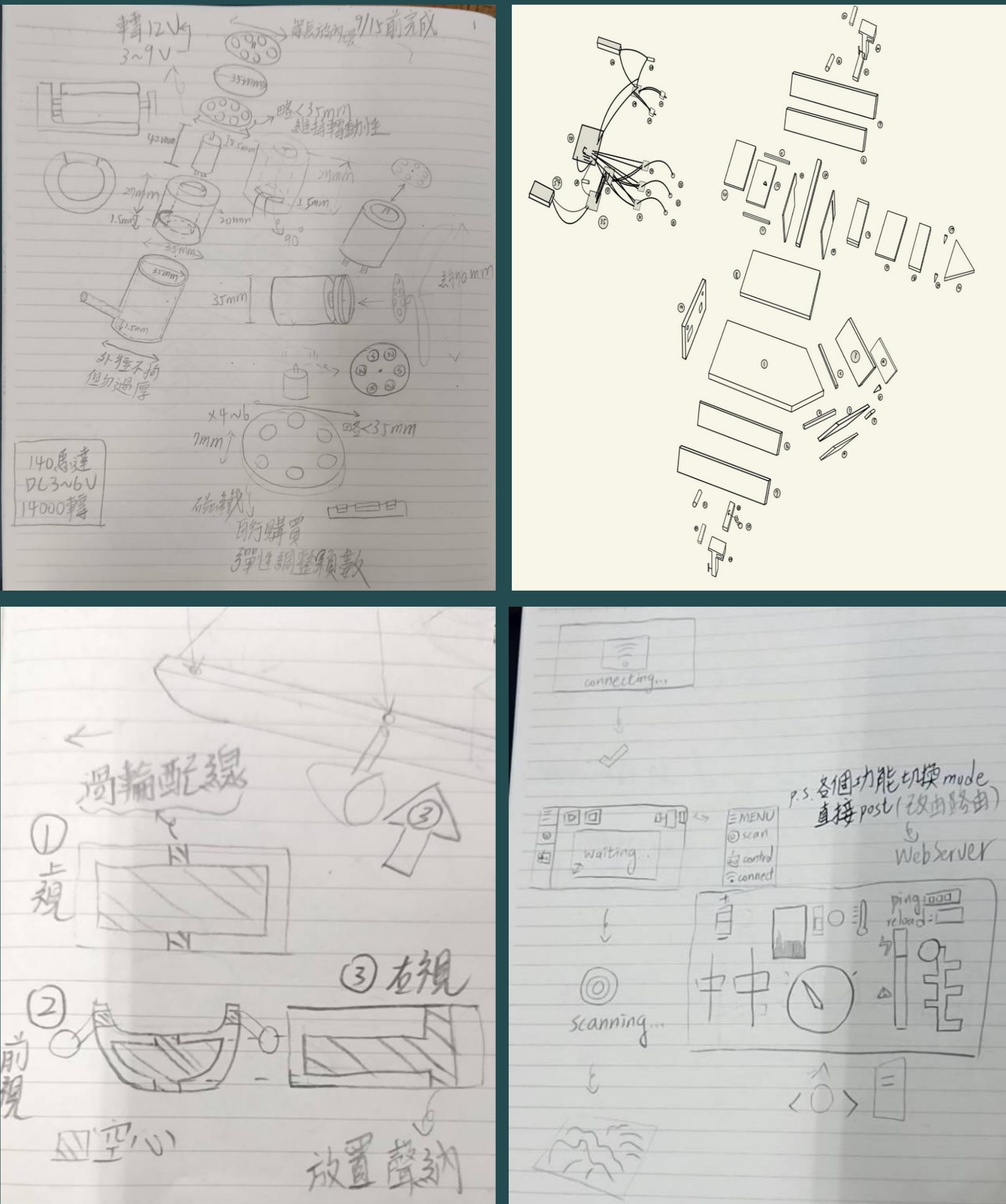


圖1~4 設計手稿（作者自攝）

以上的圖片分別是

- 馬達設計（左上）
- 整體船身（右上）
- 船隻空間配置（左下）
- G U I 構想（右下）

研究器材設備一覽：

表一 研究器材（作者自製）		
品項	型號	規格
Wifi 模組板子	Wemos D1R2	微控制器：ESP-8266EX WIFI 頻率：2.4GHz 工作電壓：3.3V 數位 I/O PIN：11 支接腳 類比輸入 PIN：1 支接腳 Arduino 兼容
馬達控制板子	Arduino Uno	USB 線供電：5v 外接電源：7-12v 數位輸入/輸出引腳：14 個 類比輸入引腳：6 個
水溫感測器	DS18B20	溫度測量範圍：-55~+125°C 溫度測量精度：0.5°C 工作電壓：DC5V
直流馬達	略	
馬達模組	L298N	主控晶片：L298N 電壓：5V 驅動電壓：5V ~ 35V 電流：0mA ~ 36mA 驅動電流：2A 工作溫度：-20°C ~ 135°C 最大功率：25W
聲納	JSN-SR04T	工作電壓：DC3-5.5V 工作電流：30mA 測量角度：< 70° 工作溫度：-10 ~ 70°C 探頭引線長：2.5 M 重量：54g 探頭頻率：40kHz 遠射程：600cm 近射程：20cm 遠距精度：±1cm

研究方向與目的：

本研究冀望通過以下成果達成上述目的

- （一）研究船製作：
研究船需要能平穩行駛於水上並具有水域中進行實驗的能力。

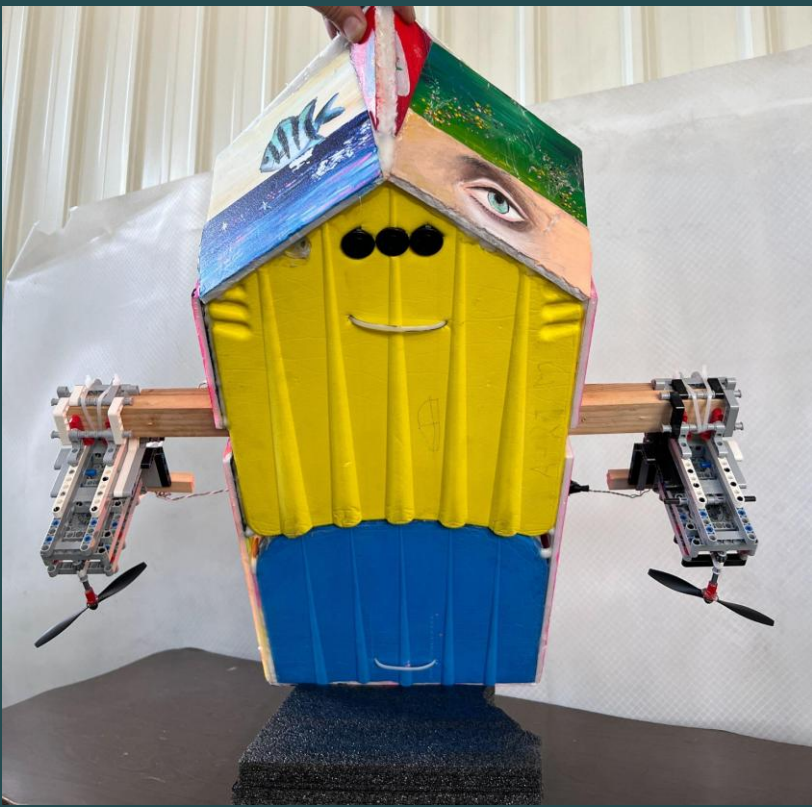


圖5 船底圖片（作者自攝）

- （二）G U I 開發：
將電腦端與研究船之間的聯繫簡化成易懂的圖像化使用者介面也可即時觀察實驗結果。

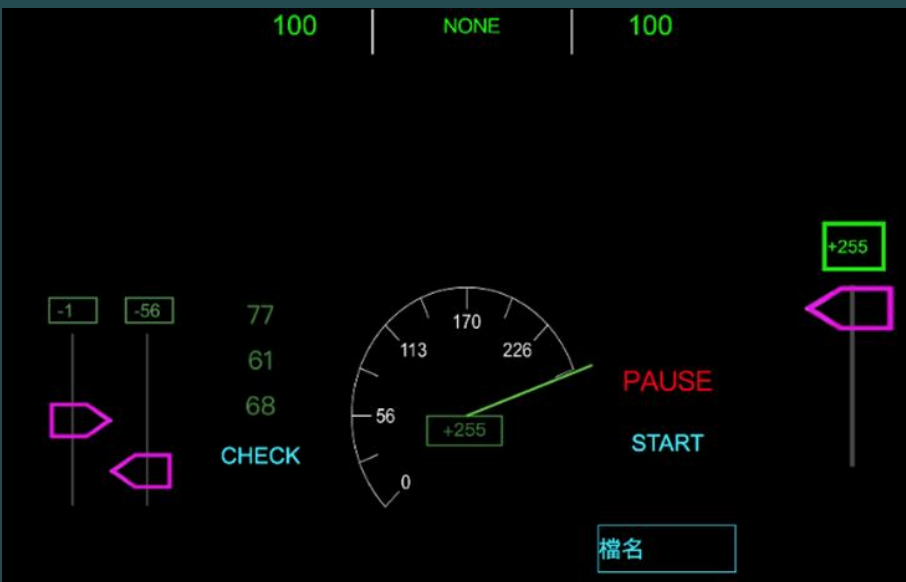


圖6 GUI操作介面（作者自攝）

- （三）通訊建構：
電腦與研究船間利用TCP/IP協議下達指令或請求傳達給船上的WEMOS D1R2，並做出相對的回應，指令需下達至主控馬達的Arduino UNO時，則由UART協議交換指令。
- （四）立體建模：
建構出x,y,z（深度測資）三維座標資料，其後進行渲染呈現出立體的水中地形。

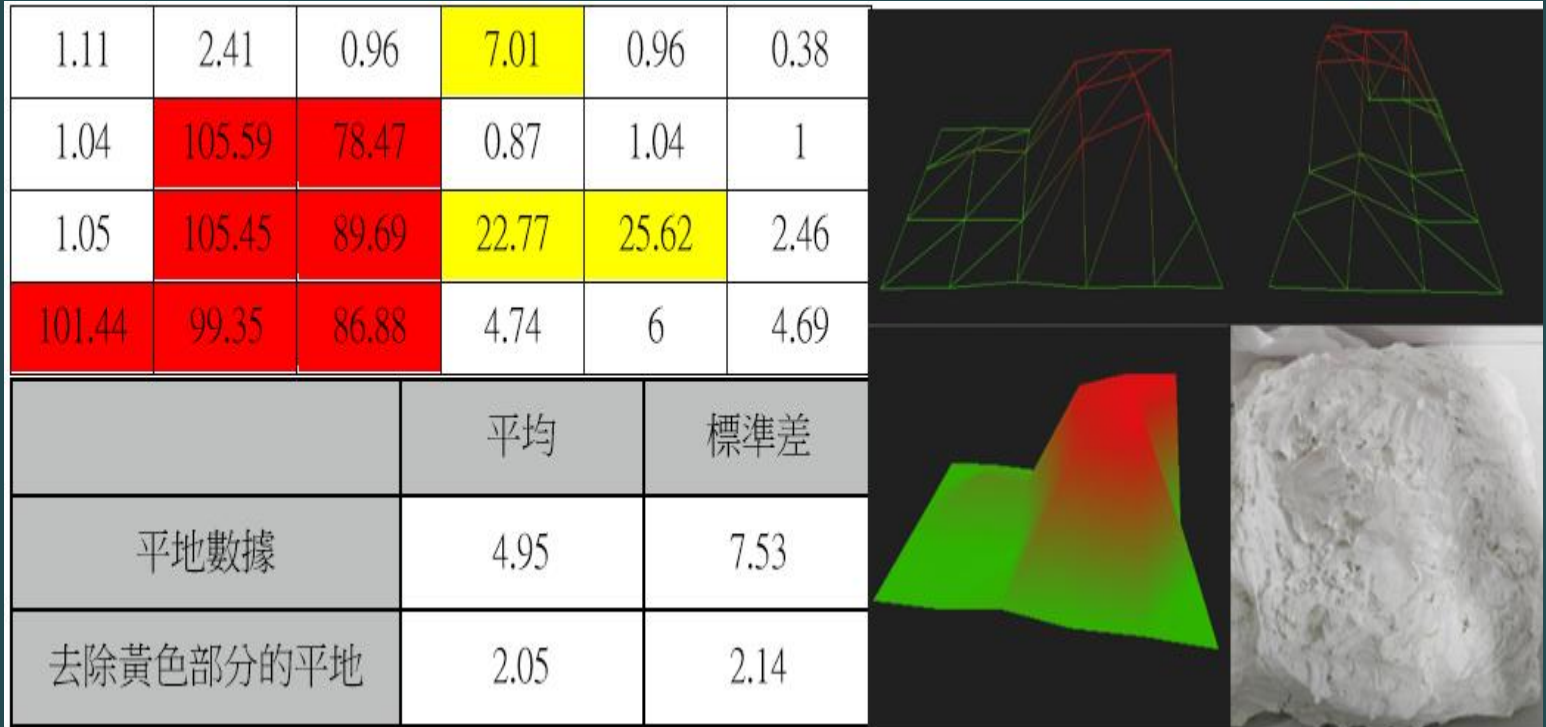


圖7 渲染介面與測量實體（作者自攝）

超音波、水中地形、立體建模

ultrasound

water terrain

3D modeling

本次測試使用磚頭模擬盆地地形以驗證超音波探測並建模地形的可行性。

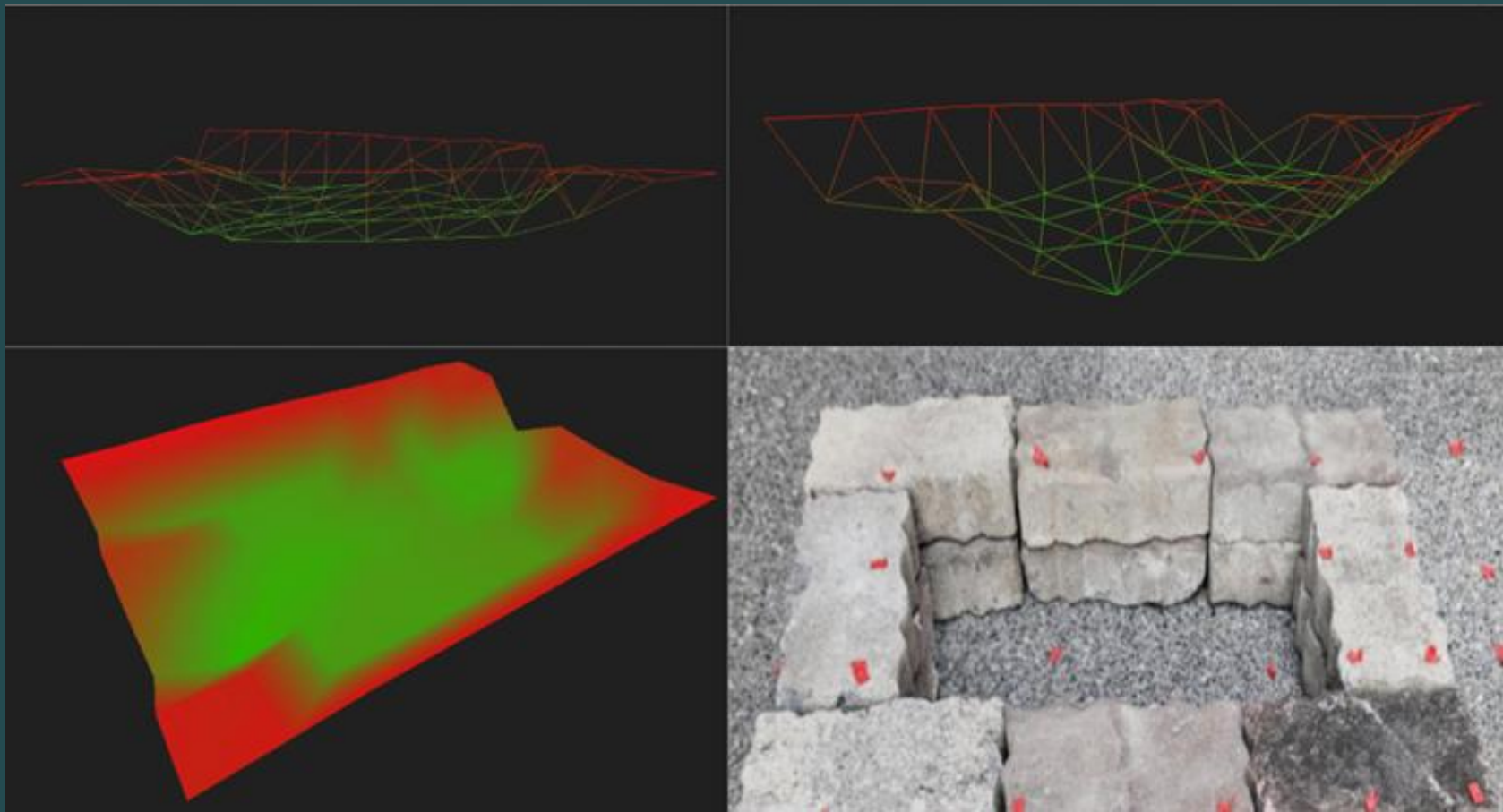


圖8 陸地測試結果（作者自攝）

更新內容：

1.船體：船體重建，加大並加重船身，由單音束探測改為多音束探測增加數據的可校準性，可拆卸式配重（角鋼、砝碼）以應對不同水域的風浪。



圖9 紅塵號——初代探測船（作者自攝）



圖10 白浪號——改良探測船（作者自攝）

2.GUI：更新頁面令當次測量的數據可以更清楚的監控，另外再加上停止鍵使我們可以在船隻運行錯誤或設備異常時可以強制停止，不至於浪費過多時間，並且將設定測量範圍之功能移至前端。
3.立體渲染：在網狀圖的處上建開發出上色功能，相較於先前只能在後台進行調色，現在上色功能已經實裝於前端。

紅塵號路上測試

紅塵號泳池測試（一）

設備更新

白浪號泳池測試（二）

白浪號日月潭測試

在泳池進行測量以及建模測試，進而發現水下參數我們實際做實驗後發現與文獻參考有所出入故於常數乘以0.44校正。

本次測試使用泳池教學椅進行測試，目標為準確度的探討，上述的參數調整便是由此得知。

表二 泳池測試數據（作者自製）

2.96	2.43	2.31	0	3.33	2.05	2.96
56.84	61.45	57.66	58.4	53.84	50.7	4.25
6.93	59.38	57.66	57.99	57.99	58.05	56.12
6.66	6.29	7.45	40.02	6.25	7	59.45
7.42	9.42	5.77	8.45	7	7	62.11
58.45	63.27	62.81	63.23	56.97	54.75	63.32
98.23	78.89	64.66	61.42	63.27	62.4	64.86
14.21	14.21	12.65	13	13.25	14.44	66.16
		平均	標準差			
地勢高處		61.74	8.65			
地勢低處		8.41	7.55			

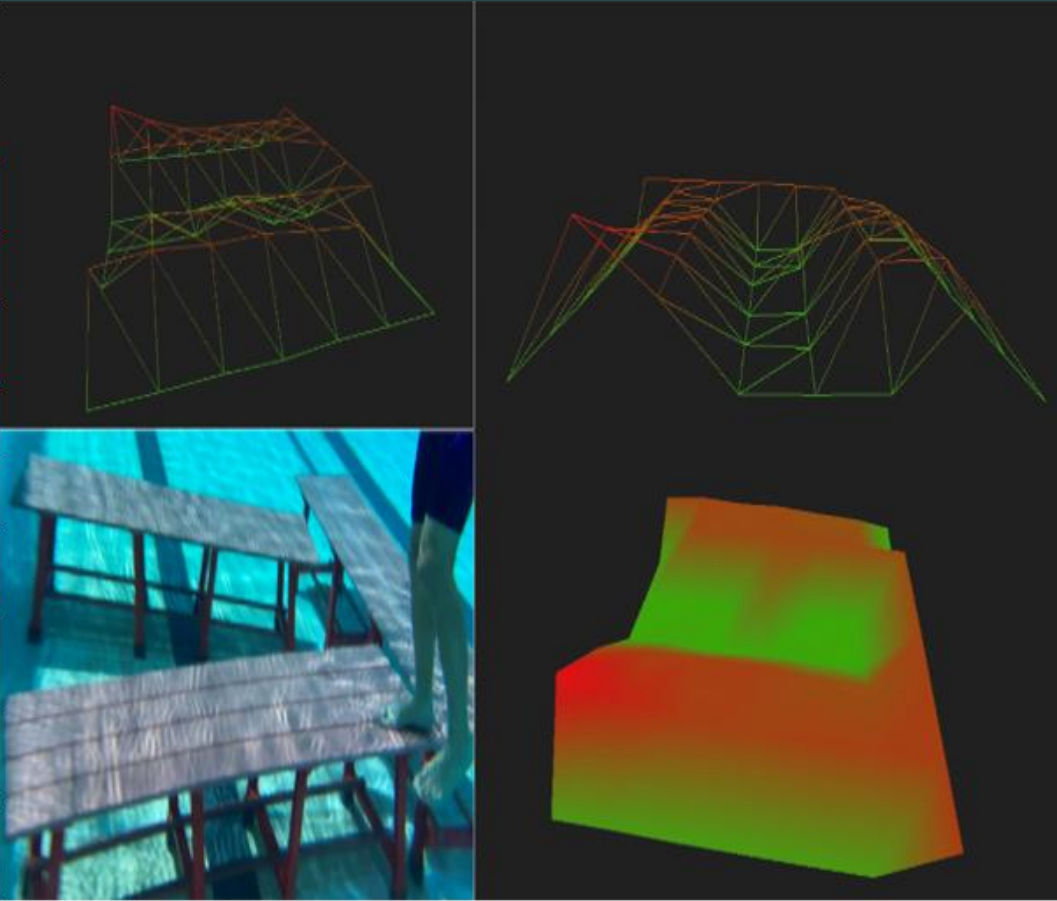


圖11 泳池測試結果（作者自攝）

試驗多音束探測的可行性並改良船隻行駛演算法

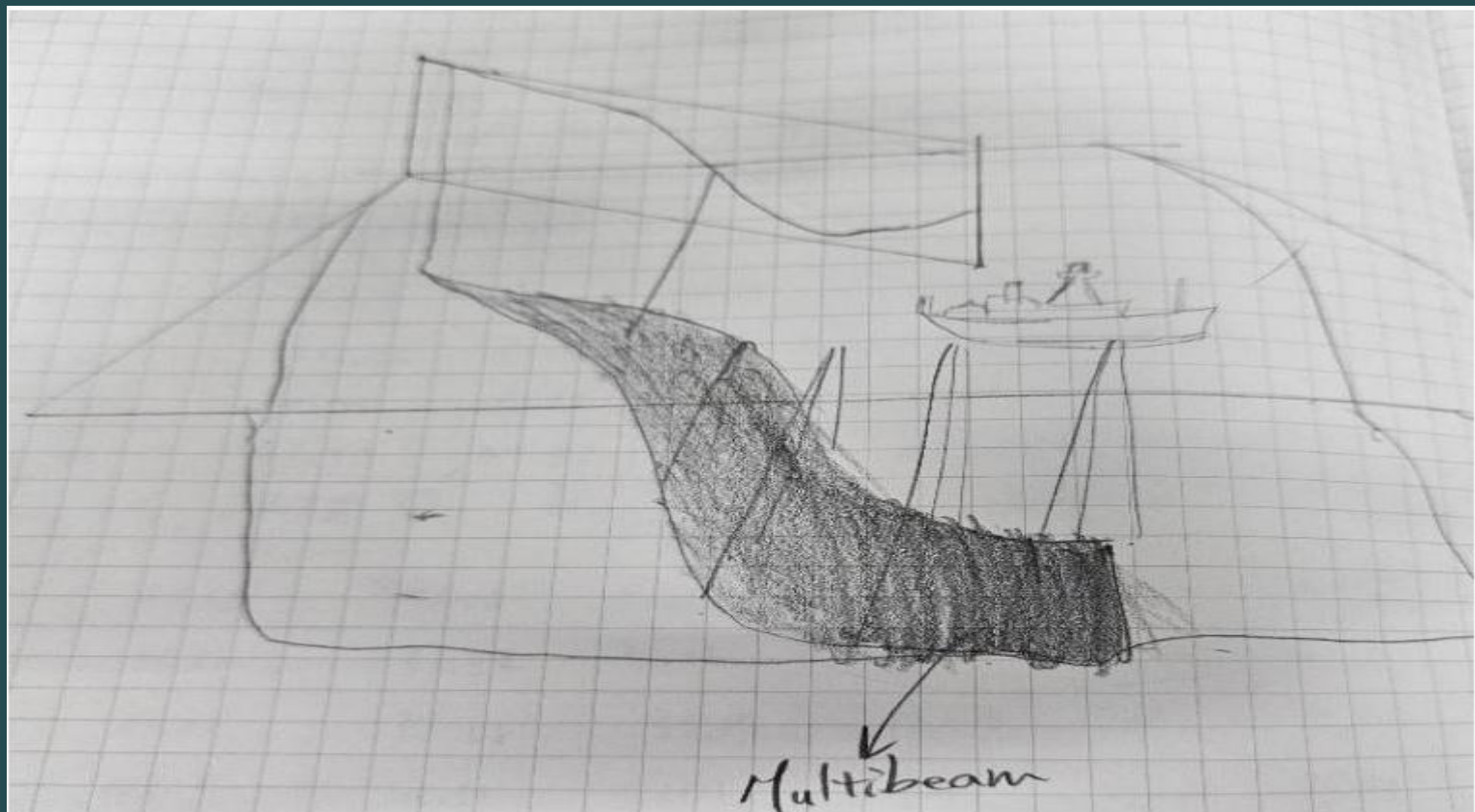


圖12 多音束探測概念圖（作者自攝）

利用先前在準確度測試中得到的結果進行下一步實驗，並在日月潭多次測量測量用以校準精確度。將多次測量過後的資料中誤差過大的值手動刪除，再回傳至Three.js進行建模。



圖13 日月潭測試過程（作者自攝）

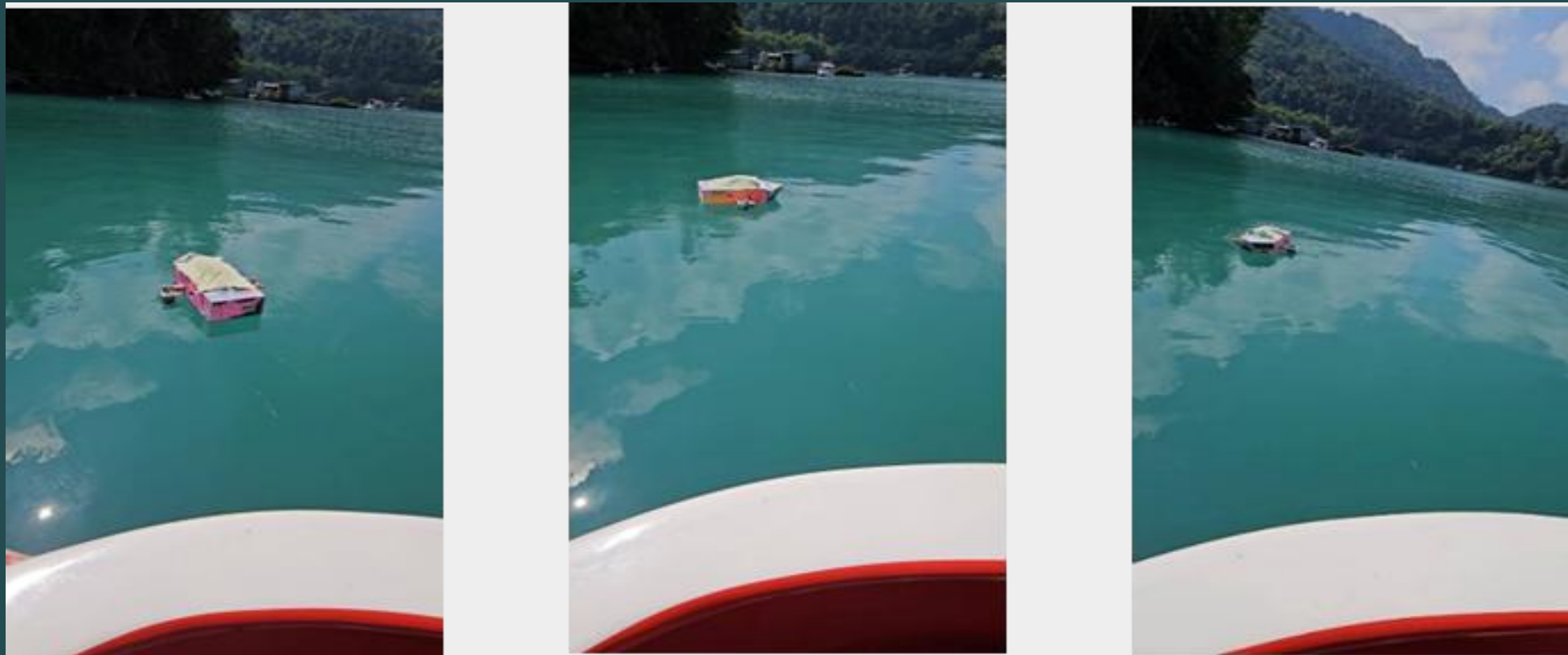


圖14 日月潭測試過程（作者自製）

115.5984	136.5127	115.5806	73.6804	86.9594
117.7861	84.2269	95.5625	96.5811	92.5286
70.3032	66.5139	65.8004	106.3365	94.5176
43.9204	73.1575	78.5832	66.7529	90.0066
71.5482	98.3170	94.0579	69.5725	88.5829
7.8807	58.9506	77.5413	126.7354	74.6704
89.1603	0.0193	0.0000	0.0413	0.0166

表三 泳池測試數據（作者自製）

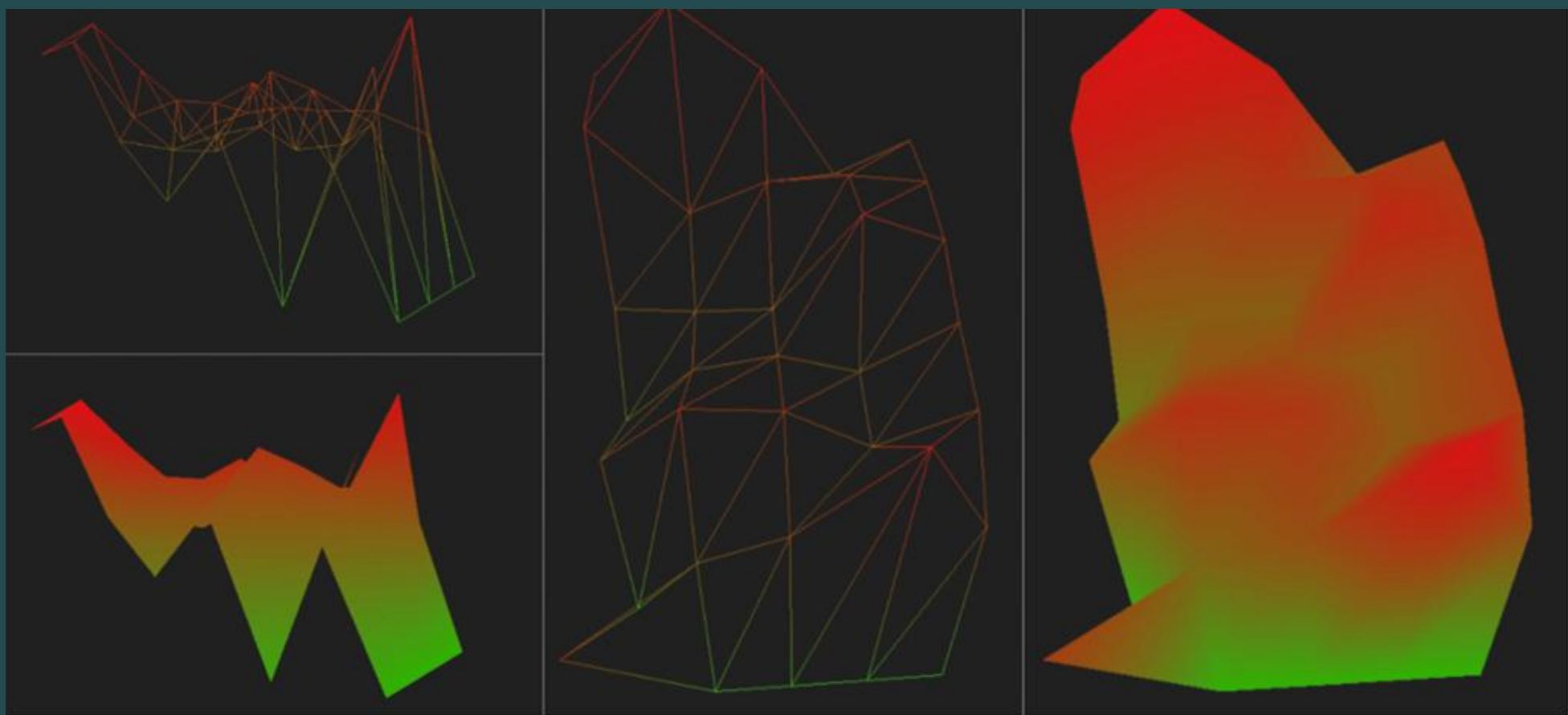


圖15 日月潭測試結果（作者自攝）

本次所有測試用表格與模型中紅色部分為地勢高處，而表中黃色部份則為測資與實際狀況不符且過高處，綠色則為過低處。單位皆使用公分。

討論：

本次研究主要分為準確度測試以及精確度測試，我們先行在泳池進行準確度測試，因為知曉泳池的深度以及測試物品的高度，所以可以進行多次實驗將不符合地測值刪除以令我們的建模更加準確。不過，在日月潭進行的實驗無法探知水底的確切深度，所以我們在多次實驗後進行資料分析，隨後將與其餘測值相比過於分散的數值手動刪除，而過於離散的點則以周圍的點之測資進行加權平均以賦值。在整理數據的時候，我們發現離散的點容易出現在船隻轉彎的地方，但我們目前並未針對這點有明確的改良方向，目前較理想的做法是將周圍一圈也就是船隻並非走直線的區域刪除。先前船體不穩的問題在船體加大加重以後有了顯著的改善，尤其是左右搖晃的部分，上下起伏的部分因為吃水不夠深仍舊會跟著水波晃動，不過在綁上角鋼後會有明顯的改善。

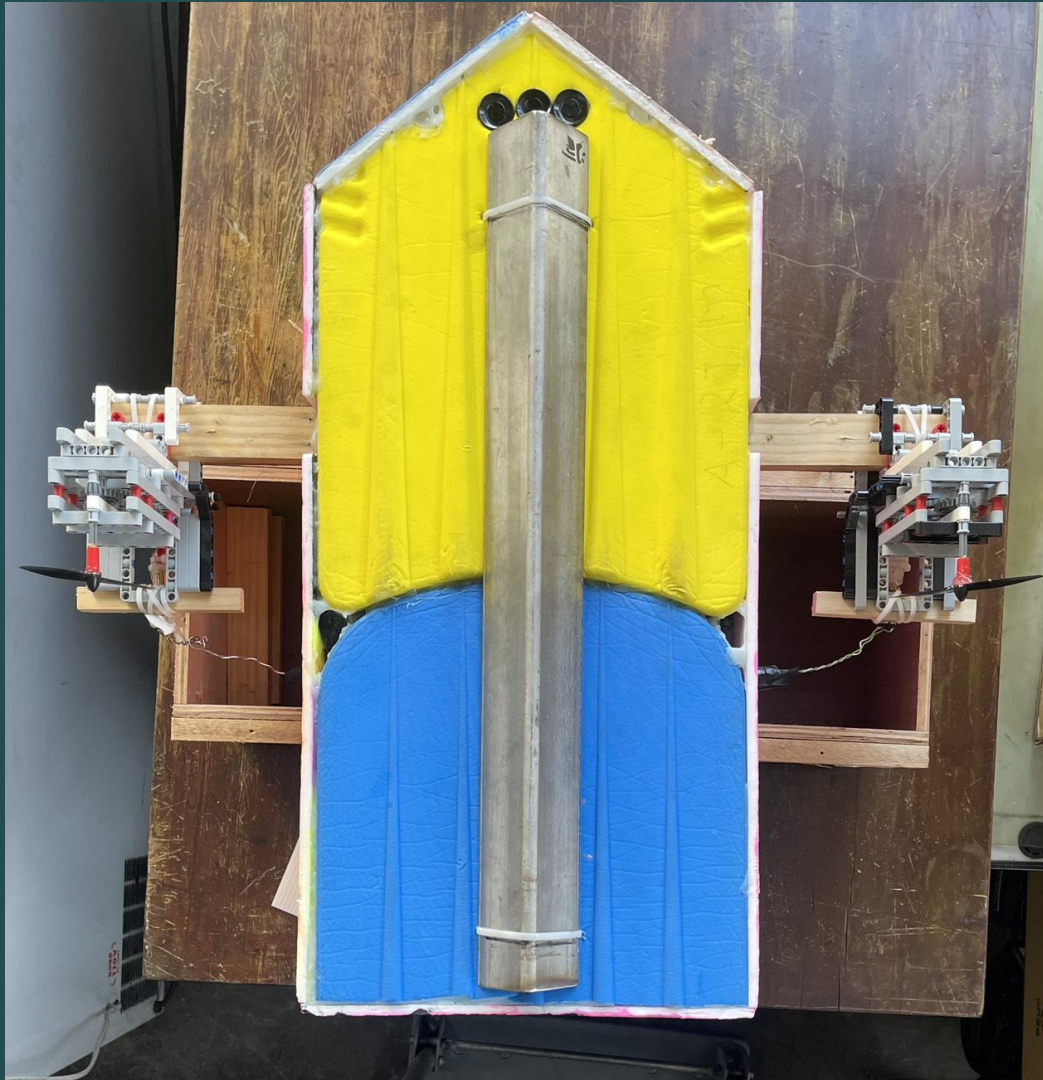


圖16 綁上角鋼的船底（作者自攝）



圖17 角鋼綁上後測試照片（作者自攝）

上圖是我們整理數據時輔助用的圖片（皆由Geogebra），X軸為測試的編號由 - 4 ~ + 5 代表第一到第十次測試，Y軸則代表結果。綠線是最終採用的測試點這些點最終取平均便是用以建模的數字，最右邊那張圖是其中一張無法判斷的圖，如前面所述該點將由周圍點依其數據分布情形給予加權所得的數字做為建模之依據。

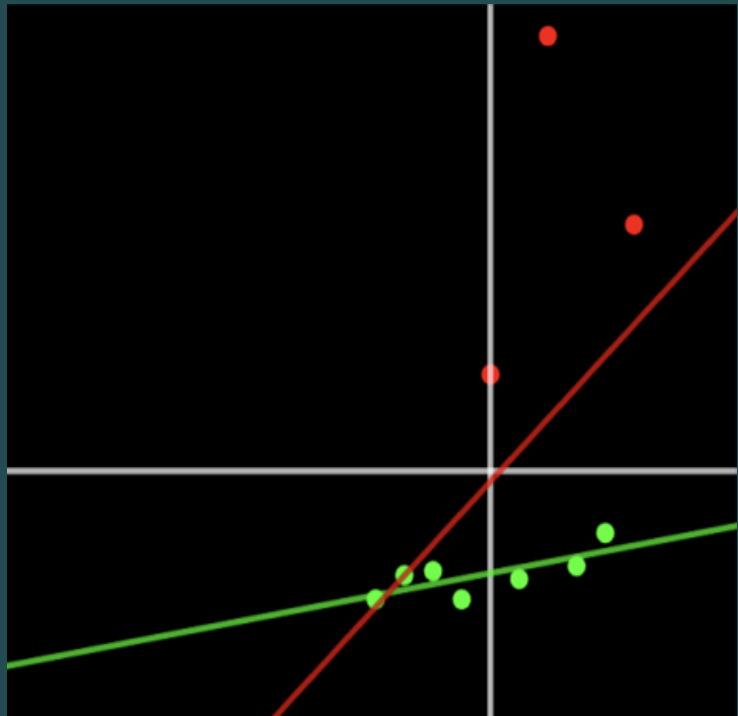


圖18 測試數據（作者自攝）

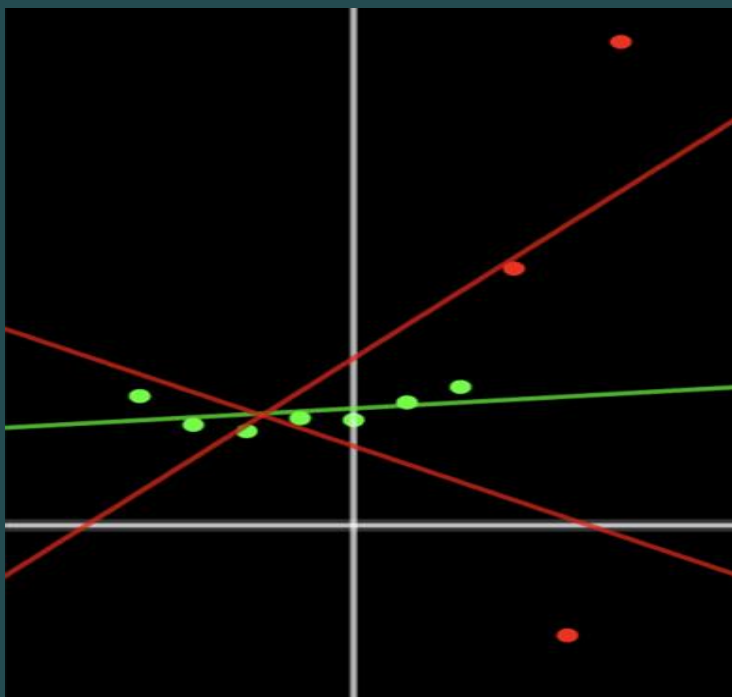


圖19 測試數據（作者自攝）

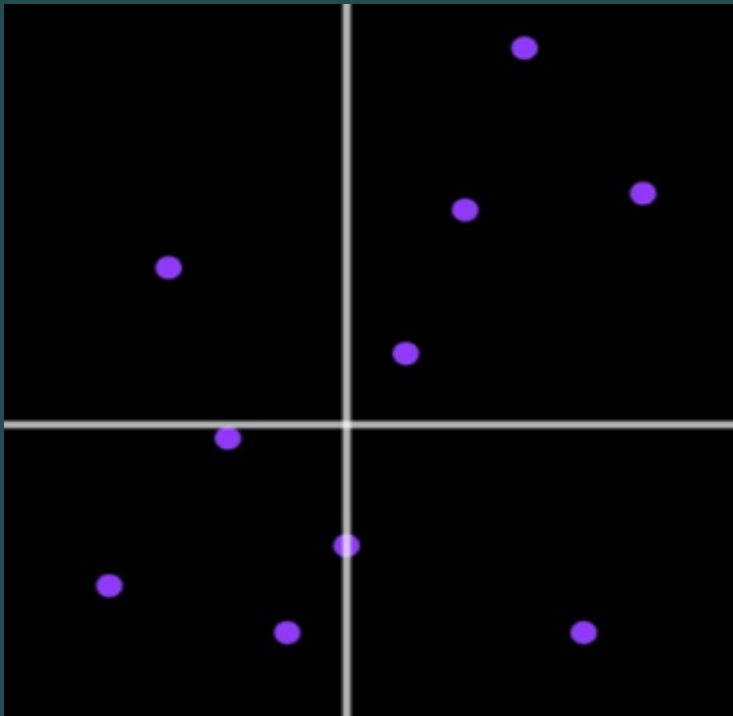


圖20 測試數據（作者自攝）

改良方向：

（一）自動化：

本次作品尚只能由操作者操控駕駛，接下來希望可以開發在行駛之前預設好路線進行自動駕駛，並自行校準航行軌跡。（目前已有概念雛形）

（二）風浪影響：

因為風浪的影響造成船體的左右晃動，導致測試點測資飄移，推測可能為搖晃造成掃描地點不同，接下來會前往泳池進行對於風浪的校準。

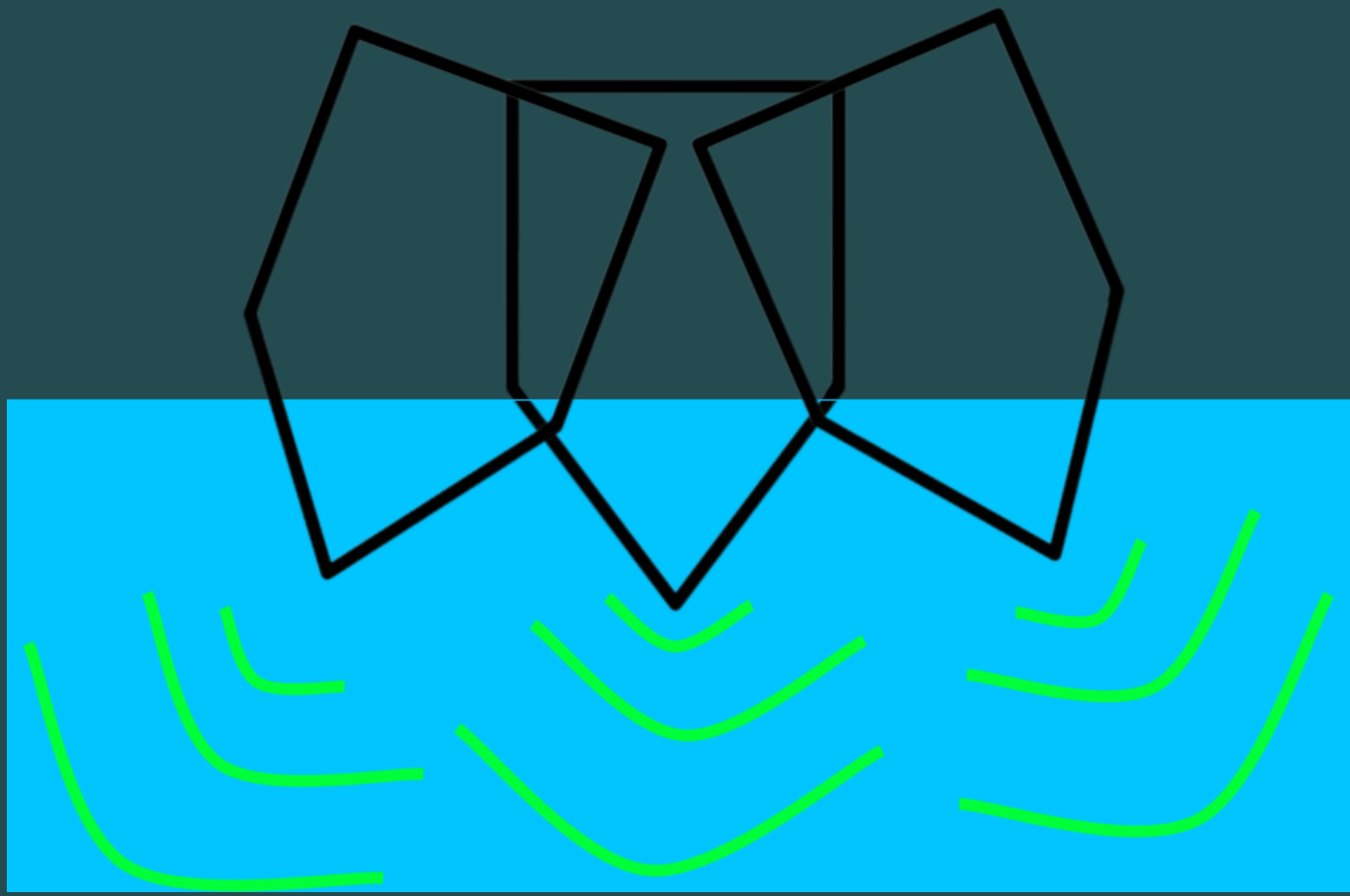


圖21 風浪影響示意圖（作者自製）

（三）GPS定位：

藉由GPS定位能夠加大探測範圍，並管理航行路線，但隨著行進範圍的擴大，通訊設備勢必也需要進行升級，也需考量續航力等問題。



圖22 泳池測試現場（作者自攝）

心得：

經過這次親自動手做出一個便於操作的裝置我們發現即使是看似簡單的功能背後都需要嚴峻的考量與許多巧思創意，面對難以控制的水域狀況也需要針對不同問題提出想法與解決方案，因此團隊合作與溝通也相當重要，有了這次學習與成長的機會，未來希望能繼續完成更多件有趣且完成度高的作品。