

國立清華大學 電機工程學系
實作專題研究成果摘要

IoT underwater vehicle
水下物聯網載具

專題領域：系統領域

組別：A658

指導教授：楊雅棠

組員姓名：許展睿、蘇暉哲、許皓翔

研究期間：2025年9月1日至2026年5月4日止，共9個月

Abstract

This project aims to develop a PS4 Bluetooth-controlled underwater vehicle by integrating an ESP32, DC motors, and a power switch module to achieve flexible maneuverability and stable operation. The research is divided into three stages. The first stage focuses on circuit design to ensure stable power supply and signal transmission among all components. The second stage involves programming with Arduino to enable the system to correctly receive and execute control commands. The third stage is the vehicle structure design, which considers buoyancy, stability, and practical operational requirements. Through the integration of hardware and software, the ultimate goal of this project is to create a Bluetooth-controlled vehicle system with good controllability and practical usability.

摘要

本專題製作一款以 PS4 藍牙控制的遙控水下智能船，整合 esp32、直流馬達與電源開關模組，以實現靈活操縱並能穩定運行。研究內容分成三個階段，第一部分是電路設計，確保各元件間的供電與訊號傳輸穩定；第二部分則是透過 Arduino 撰寫控制程式，使整個系統能正確接收並執行指令；第三部分是船體設計，兼顧浮力、穩定性與實際操作需求。透過軟硬體整合，本專題最終目標為打造一套具備良好操控性與實用性的藍牙遙控船系統。

目錄

1.Introduction	1
1.1背景與動機 (Background and Motivation)	1
1.2核心挑戰：系統整合與穩定運作	1
1.3研究動機：打造直覺化且具實用的操作平台	1
2.研究目的 Purpose	2
2.1實現具備高靈敏度與直覺化操控的載具	2
2.3建立具備高度擴展性的水下攝影載具	2
3.Research Methodology	2
3.1 電路設計	2
3.2Arduino 程式	4
3.3船體設計	6
4.Results	8
5.Conclusion	9
6.Reference	9
7.心得感想	10

1. Introduction

1.1 背景與動機 (Background and Motivation)

研究背景：微型化水下 IoT 載具的趨勢

隨著物聯網 (IoT) 與嵌入式系統技術的進步，微型水下無人船 (Underwater Drone) 的開發已成為水下監測與環境探查的重要方向。傳統大型載具受限於操作複雜度與高昂成本，難以在狹窄區域或淺水環境中普及。因此，如何利用高整合度的微控制器，建構出體積小巧 (如小於 30 cm) 且具備即時通訊能力的智慧平台，成為當前研究的重點。

在眾多控制器中，ESP32 憑藉其強大的雙核運算能力與內建的雙模藍牙 (Classic/BLE) 功能，成為開發微型 IoT 載具的首選核心。相較於傳統無線通訊，利用藍牙技術整合市售成熟的控制終端 (如 PS4 控制器)，能提供更直覺且精準的操控體驗。

1.2 核心挑戰：系統整合與穩定運作

設計一款靈活的水下智能船將會面臨以下幾個挑戰：

1. 電源分配管理：直流馬達與 ESP32 共用電源時，必須透過精密的電源開關模組管理，避免動力負載突增導致處理器重啟，確保軟硬體協同運行的流暢度。
2. 軟硬體協同控制：系統需即時處理來自 PS4 藍牙的複雜封包，並將其轉化為馬達的 PWM 動力指令。這要求開發者在軟體端 (如 Arduino 環境) 具備高效的邏輯判斷與中斷處理能力。
3. 重心的動態平衡：將晶片、電源模組與配置於船體上方，可能導致整體受力不平均。如何設計船體結構以確保在水面航行時具備足夠的穩定性，防止因高速轉向或水波干擾而翻覆，是設計的核心重點。

1.3 研究動機：打造直覺化且具實用的操作平台

本專案的動機在於結合不同電子元件與進行整合，探討低成本、高性能水下遙控系統的可行性。我們的目標不僅是實現基本的前進、後退與轉向，更強調以下三點價值：

1. 直覺化操控：利用 PS4 控制器的搖桿靈敏度，使水下船具備直覺且快速的操縱性。
2. 軟硬體高度整合：從零開始設計電路、撰寫嵌入式程式到製作物理船體，完整實踐「系統實作」的研發流程。
3. 可擴展性：建立一個穩定的載具平台，為未來安裝水下攝影機提供良好的平台。

本專案透過三個階段的系統開發：穩定的電路布線、精確的程式邏輯與優化的船體結構，旨在打造出一套兼具操控樂趣與研究價值的藍牙遙控水下系統。這不僅是對嵌入式開發技術的綜合應用，更是對微型水下 IoT 載具實踐方案的深入探索。

2. 研究目的 Purpose

2.1 實現具備高靈敏度與直覺化操控的載具

本專案的核心目標是設計並製作一台以 **ESP32** 為核心的遙控水下智能船。透過藍牙結合 **PS4 控制器**，利用其高靈敏度的搖桿，使船體具備便利直接的操縱性，達成精確的推力反應與航向調整，顯著提升微型水下載具的操作體驗。

2.2 實踐「從零到一」的系統整合研發流程

第二個目標是完整實踐「系統實作 (System Implementation)」的研發思維，將研究分為三個相互關聯的整合階段：

- **電路與電力系統設計**：設計並整合直流馬達、電源開關模組與 ESP32 核心，確保動力輸出與邏輯運算間的穩定性。
- **嵌入式韌體開發**：從底層開始撰寫 **Arduino** 控制程式，解析 PS4 藍牙通訊，並將其轉化為即時的執行指令。
- **物理船體建構**：針對水上運行的需求，從物理結構出發，平衡浮力、重心與阻力，打造出能承載電子元件並穩定航行的實體載具。

2.3 建立具備高度擴展性的水下攝影載具

第三個目的在於建立一個穩定的載具平台，為未來的進階應用奠定基礎。本專案不僅追求基礎的前進、後退與轉向功能，更強調平台的**平穩性與負載能力**。透過此一穩定的水面載體，旨在為未來安裝**水下攝影機**或環境感測設備提供良好的架設平台，使其具備執行動態監測或水底畫面採集的潛力。總體而言，透過深度整合不同電子元件與軟硬體，探討了建構低成本、高性能控制系統的可行性，同時打造出一個具備優異操控性且預留擴展空間的智慧載具平台。

3. Research Methodology

3.1 電路設計

首先是電路設計的部分，共有以下元件：ESP32 開發板 (主控制器)、L298N 馬達驅動模組、直流馬達、LM2596 DC-DC 降壓模組、18650 鋰電池、TPS5

450 電源開關模組、1k 和 10k 歐姆電阻、杜邦線與麵包。

電路主要由四個模組所構成：

1. 電源模組(鋰電池 + LM2596)：提供穩定電壓給控制系統和馬達
2. 控制模組(ESP32)：負責接收藍牙訊號並輸出控制指令
3. 驅動模組(L298N)：將控制訊號轉換為可驅動馬達的電流
4. 電源開關模組(TPS5450)：控制驅動馬達開關

整個電路採用「分離供電」架構：

1. 馬達電源：電池 → TPS5450 → L298N
2. 控制電源：電池 → LM2596 → ESP32

電源模組是採用兩顆 18650 鋰電池串聯(總計約 7.4V)，該電壓接入開關模組後直接用來供應馬達，而 ESP32 開發板有電壓上的限制(5V)，為了使 ESP32 穩壓而使用 LM2596 降壓模組進行電壓轉換，透過調整降壓模組的可變電阻，以三用電表測量後將電壓轉換成 5V，該電壓即可接入 ESP32。

驅動模組 L298N，透過 12V 的腳位接收電源供應

Table 1-1

L298N 腳位及功能

L298N 腳位	功能
ENA / ENB	PWM 控速
IN1~IN4	控制方向

ESP32 透過其 GPIO 腳位控制方向，並透過 PWM 控制轉速，ENA 和 ENB 分別控制兩個馬達，這邊將兩個馬達並聯為一組，一組控制前後，一組控制轉向。

控制模組 ESP32，透過 5V 腳位接收經降壓模組轉換後的電壓，並使用 GPIO 腳位來連接 L298N 以及 TPS5450，這邊在設計上發現 ESP32 的 GPIO 腳輸出能力有限，並且 L298N 輸入腳因外部雜訊造成瞬間電流回灌，使得 ESP32 本身沒有供電的時候因為連接了有供電的 L298N 而讓 ESP32 的 LED 燈不斷閃爍，因此在兩者之間加入保護電阻(1k 歐姆)。

最後是 TPS5450，EN 腳由 ESP32 控制：

1. HIGH → 開啟馬達電源
2. LOW → 關閉馬達電源

為避免 ESP32 腳位在「未定義狀態」時 floating，導致馬達亂動或系統誤觸發，故在 EN 腳位增加10k 歐姆的下拉電阻，防止開機瞬間誤觸發馬達並確保預設狀態為 OFF。

3.2 Arduino 程式

接著是 Arduino 程式設計的部分，以 ESP32 為核心，結合 Bluepad32 藍牙手把控制與 L298N 雙馬達驅動模組。(本專題部分程式碼經由 ChatGPT 協助生成與除錯，並由作者進行測試與修改。)

1. 初始化設定(setup())

(1) 基本設定

- 啟動序列埠 (Serial) 供除錯使用
- 設定 LED 與馬達控制腳位為輸出模式

(2) PWM 設定

```
ledcSetup(channelA, freq, resolution);
```

```
ledcAttachPin(ENA, channelA);
```

使用 ESP32 的 LEDC 模組產生 PWM 訊號，freq = 1kHz，resolution = 9 (0~511)，用來控制馬達轉速。

(3) 電源初始化

```
pinMode(TPS_EN, OUTPUT);
```

```
digitalWrite(TPS_EN, LOW);
```

初始狀態為關機(TPS5450為關閉狀態)

(4) 藍牙初始化

```
BP32.setup(&onConnectedController, &onDisconnectedController);
```

- 啟動 Bluepad32
- 註冊手把連線 / 斷線 callback
- 清除舊配對資料 (確保重新配對)

2. 手把訊號處理(processGamepad())

透過 Bluepad32 函式庫接收 PS4 手把訊號：

- `int ly = ctl->axisY();` 左搖桿 Y 軸（控制前後馬達）
- `int rx = ctl->axisRX();` 右搖桿 X 軸（控制轉向馬達）
- `bool buttonNow = ctl->buttons() & 0x0001;` 按鍵 X（作為電源開關控制）

切換條件: `if (buttonNow && !lastButtonState && millis() - lastToggleTime > 300)`

包含三個設計：

- 上升沿觸發（只在按下瞬間觸發）
- 防彈跳（Debounce）
- 避免連續誤觸

3. 馬達控制程式

(1) 電源控制邏輯：使用 PS4 X 鍵作為系統總開關，透過狀態切換 `powerOn` 變數來控制

- ON → 啟動馬達控制
- OFF → 強制停止所有輸出並關閉 LED 指示

此設計避免馬達在未授權狀態下運轉，提高安全性。

(2) 馬達速度與方向控制：利用搖桿輸入值進行區間判斷與 `map` 映射

```
motorASpeed = map(ry, -508, -25, 510, 0);
```

- 將搖桿輸入轉為 PWM
- 搖桿偏移越大 → 輸出 PWM 越大（速度越快）
- 正負值 → 決定正轉或反轉

設計 Deadzone(±25 範圍為無效輸入)，避免搖桿微小偏移導致馬達抖動。同時在切換方向時會有短暫 `delay` 確保穩定切換，再輸出 PWM 訊號控制轉速，此方式可降低方向切換瞬間的電流衝擊，提高穩定性。

4. 系統執行架構（Loop 設計）

主迴圈採用「非阻塞式更新」設計：

1. BP32.update() 更新手把資料
2. processControllers() 處理控制邏輯
3. 每 10ms 更新一次 (約 100Hz 控制頻率)

以確保系統具備即時反應能力。

3.3 船體設計

船體以風扣板作為主要結構材料，採用四層垂直堆疊的設計，層與層之間皆透過風扣板進行堆疊與結構連接。透過剪裁與黏貼實現輕量化且具備穩定性的船身。設計細節如下：

1. 四層式船體構造設計

- 第一層：此層利用風扣板製作精細的凹槽，將 ESP32、電源模組、電池盒等電子元件分類固定。在組裝過程中，透過量測各元件重量並調整配置位置以控制重心，確保船體在靜止與航行時皆不會發生傾斜、翻覆。
- 第二層：主要功能為墊高船體高度，使上層的核心電路與水面保持安全距離，避免前進時濺起的水直接接觸電子元件。
- 第三層：此層與水面直接接觸，將船首與船尾設計為較窄的形狀，以減少前後移動時的阻力。此外，此層底部安裝了馬達，負責提供船體的動力。
- 第四層：位於船體最底層，提供浮力以承載整體載荷，並確保在馬達推進過程中能維持動態平衡。

2. 馬達配置與轉向機制

船隻採用四個馬達配置於第三層底部，以實現靈活的操作：

- 前進與後退：透過位於船體前後、反向的兩個馬達進行控制。
- 左右轉向：透過位於船體兩側、同向的兩個馬達產生力矩實現轉向。

3. 防水方法

針對風扣板手工剪裁可能產生的縫隙以及杜邦線接點，採取不同的防水方式：

- 船身防水塗層：在船體接縫處與水下的層塗佈 AB 膠，利用其硬化後的密封特性防止水分滲入船體內部。
- 接點補強：針對杜邦線相連處，額外使用有機防水噴霧進行強化，形成保護，防止碰到水導致短路。

以下圖片為組裝完成的船體：

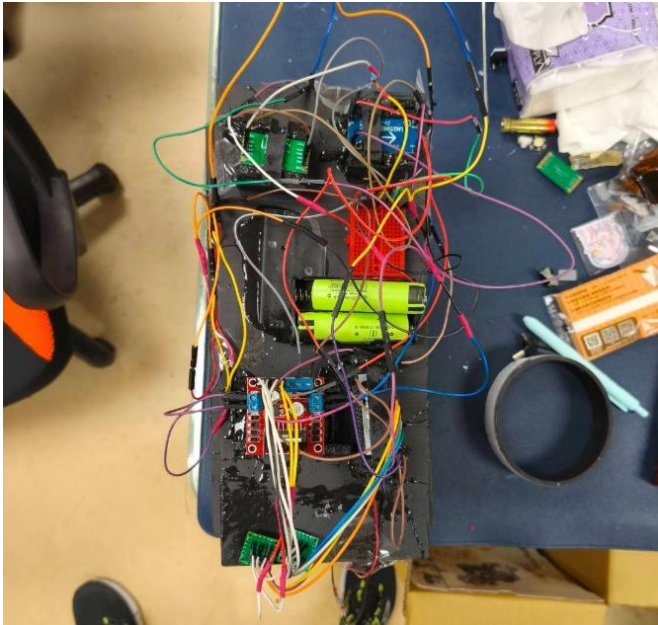


Fig. 1 船體俯視圖

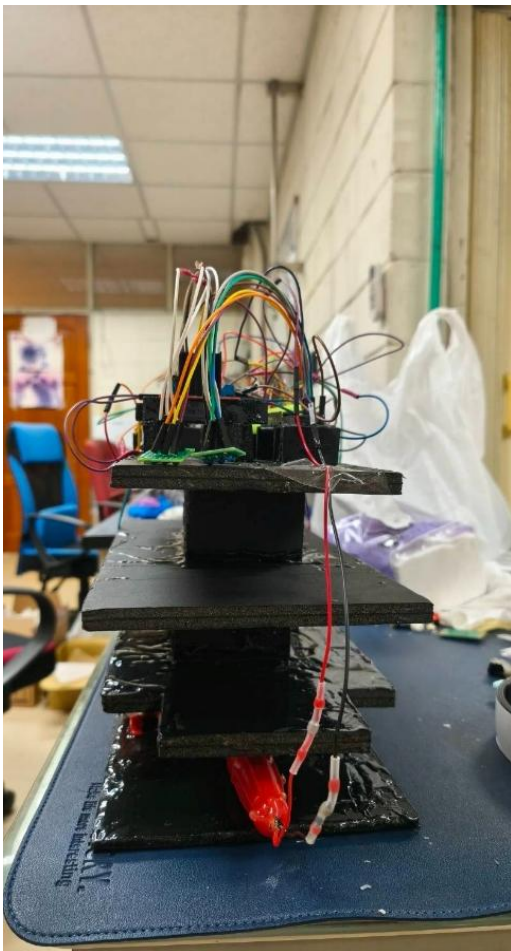


Fig. 2 船體後視圖

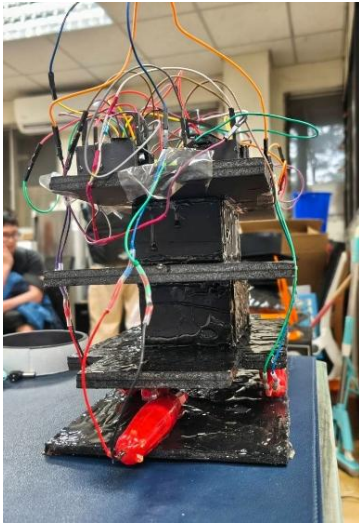


Fig. 3 船體前視圖

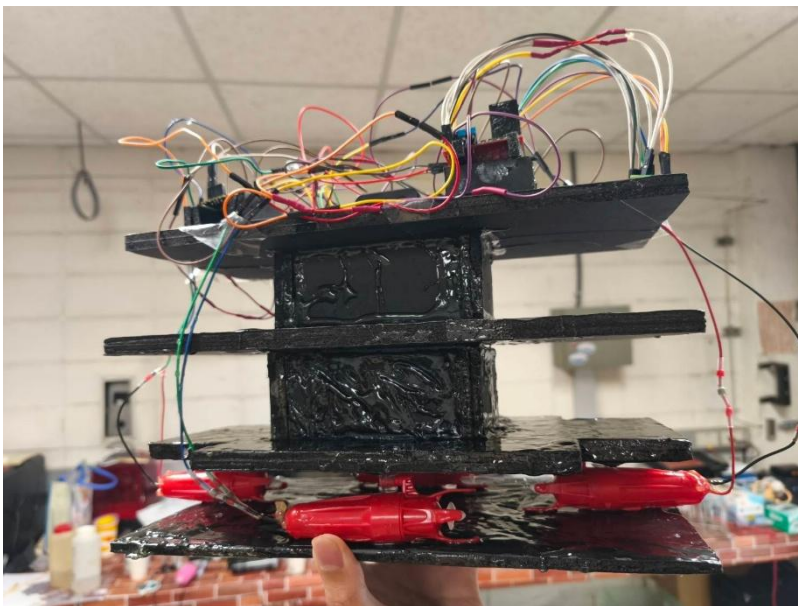


Fig. 4 船體側視圖

4. Results

在完成船體組裝與系統整合後，透過實驗室的水箱進行實地測試，針對 ESP32 接收 PS4 遙控指令的準確性，以及船體在不同操縱情境下的動態平衡進行深入評估。觀察結果如下：

1. 指令準確性

- 縱向推進：透過 PS4 控制器的左側類比搖桿，能讓船體精確解析前進與後退指令。位於船體前後的兩個反向馬達展現優異的動力，足以克服水面阻力並推動船體進行穩定且快速的移動。
- 轉向操作：利用右側搖桿控制位於船體兩側的同向馬達，可產生足

夠的偏轉力矩驅動船體轉向。

- 複合指令：同時操作 PS4 控制器的左右搖桿，船體能夠前後位移的同時執行轉向動作。

2. 馬達的操作限制

在進行「瞬間方向切換」(例如：左轉後立即接右轉)的測試時，發現由於馬達需要減速停止後才能反轉，導致指令出現後會出現短暫的延遲而無法及時的完成指令。

3. 船體達到預期的穩定性

由於第四層提供充足浮力，船體無論在靜止或受推力運作時，皆能維持穩定。此外，由於設計時對船體重心的計算，即使電子元件都放置在最上層重心偏高的情況下，仍能在測試時達成平衡，避免傾倒或受力不均。

5. Conclusion

本專題驗證了利用低成本硬體與 ESP32 核心開發水下智能船的可行性。實驗結果顯示，系統效能取決於馬達參數與重量分配(配重)之間的協調。儘管在快速切換時馬達會產生微小的延遲，但精確的重心與船體設計確保了其具備卓越的穩定性與平衡表現。這些成果證實了此模組化架構應用於未來水下物聯網 (IoT) 研究的實用價值。

6. Reference

- [1] Rachel De Barros. (2024, September 2). Use Your PS4 Game Controller with and ESP32 via Bluetooth: The Complete Guide. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=EEViXFoSzww>
- [2] Ray 的 Arduino 教學.(2021). ESP32 WiFi 用 Arduino IDE 程式來測試 ESP32WiFi 和各個腳位的功能. Ray 的 Arduino 教學.
<https://sites.google.com/view/rayarduino/esp32-wifi>
- [3] Ray 的 Arduino 教學.(2019). Arduino 自走車 L298N 驅動組裝與測試. Ray 的 Arduino 教學. <https://sites.google.com/view/rayarduino/l298n-car-drive-test>
- [4] Ariat.(2024). L298N DC 電動機驅動模塊：功能，引腳，用法和應用. Ariat.
<https://www.ariat-tech.tw/blog/l298n-dc-motor-drive-module-features,pinout,usage-and-application.html>

7. 心得感想

參與這個專題是我們在學期間最具挑戰性、也最有成就感的經歷。一開始選擇「遙控水下智能船」這個主題時，我對船究竟是如何移動只有模糊的概念，原本以為只要把馬達裝到船上，再寫些程式就能讓船在水上移動。但開始投入後我們才發現其中的每一個環節——硬體、佈線、浮力、防水，都會決定整個船是否能正常運行。

在將 Arduino 程式燒進 ESP32 後，我們遇到第一個障礙：如何將 ESP32 接出正確的線路，讓它能夠操縱馬達運轉。透過詢問實驗室學長以及上網查詢 ESP32 接腳相對應的功能後，我們才逐步釐清各個訊號腳位的定義，並順利完成了硬體與控制器的連接。當我終於成功看到馬達透過手把操控運轉的那一刻，感覺就像取得了第一次真正的突破。

接著是實驗過程的挑戰。我們在接線的過程曾經燒壞了很多顆 ESP32，後來發現是因為電流會回灌到晶片，導致 ESP32 過熱而燒毀。於是我們將其串聯電阻避免再次燒毀，並在 ESP32 上增加散熱片作為預防措施。

浮力與重量分配又是另一個考驗。我們原先設計的船體只有三層，將馬達放在最下面提供動力，但在實際下水測試後發現，船身無論在靜態或動態時都會產生傾斜。我們推測可能是浮力不足導致船體缺乏支撐，無法保持平衡，於是在馬達下安裝面積較大的第四層來增加浮力，並稍微改變最上層元件的位置以達到配重平衡。再次進行測試後，船體終於能夠平穩地在水上移動。

最後，我們很自豪能夠僅用基礎零件，就能打造出一艘功能完備的遙控水下智能船。這個專題不僅教會了我們電子學、機電整合、除錯與設計等實務技能，更讓我們深刻體會到，一個看似簡單的系統，背後都需要經過嚴謹的評估與反覆的實驗驗證。雖然這艘智能船還有許多可以優化的空間，但將一個初步的構想轉化為實際運作的裝置，並從過程中的每一次燒毀、每一次傾斜中學習與修正——正是這些跌跌撞撞的過程，讓這個專題充滿了無可取代的價值。