

智慧型船舶主機排煙檢測與分析的設計

許智勇¹ 慈復明^{1*} 徐士賢²

¹國立高雄科技大學 輪機工程系

²逢甲大學 電機工程系

關鍵詞: Arduino感測控制、智慧型氣體偵測、綠色能源、MATLAB

摘要

隨著2050年淨零排放目標的制定，海洋運輸迫切需求提升能源效益減少排放。本研究旨在設計一套智慧型船舶主機排煙檢測系統，以提升海洋運輸的能源效率並減少排放，兼顧節能和環保。我們結合綠色能源技術、利用Arduino和MATLAB軟體，進行排煙數據的即時分析和警示通知。將結果與設定值比對，對異常訊號發送聲光警示，並透過手機通訊軟體提醒操作人員。系統使用氣體偵測器搭配ESP開發板進行數據收集，所得結果再利用MATLAB進行數據分析，達到節能減碳的目標。初步設計模擬監測船舶主機排煙的氣體感測裝置，透過MATLAB/ThingSpeak進行數據比對進行效果驗證。結果顯示系統能夠即時發出異常警示。研究不僅提出了智慧型排煙檢測系統，也為綠色能源在船舶運輸領域的應用開闢另一種可能。

^{1*} 慈復明 (fuming88@nkust.edu.tw)

前言

綜觀全球交通運輸領域之中，船舶運輸一直扮演著不可或缺的重要角色，堪稱全球經貿交流的主幹。因此，排煙檢測在船舶操作中顯得尤為重要，不僅關係到船舶機械裝備的性能和安全，也直接影響到環境。特別是排煙中的污染物如氮氧化物(NO_x)、二氧化硫(SO_2)和細懸浮微粒(PM)對海洋生態及空氣都造成傷害。依據國際海事組織(International Maritime Organization, 簡稱IMO)的規範，自2020年1月1日起，全球船舶使用的船用燃料油硫含量不得超過0.5 wt% [1]，因此發展一個可靠的智慧型排煙檢測系統對於減少船舶排放、提高環境品質具有重要意義。

本研究聚焦於智慧型排煙氣體檢測與分析系統的設計，旨在針對船舶內燃引擎燃燒效率的表現進行模擬數據，並導入Arduino和MATLAB軟體工具實施數值的蒐集與分析，以改善排放氣體中的有害成分。本文以船舶為主要研究對象，採用訊號分析與傳遞以及遠端控制與監視搭配物聯網 (Internet of Things, 簡稱IoT) 相關理論和技術 [2-5]，設計了多種不同表現方式的控制方法。具體而言，本研究包括以下四種方式：首先，選用具備藍芽功能的開發板，經過適當的程式編寫對開發板實施控制後，使用者便可以透過手機對ESP32[6-9]開發板發送指令以控制特定設備的開啟或關閉；其次，利用ESP32開發板Wi-Fi功能連接物聯網，將即時感測到的溫度、濕度與氣體感測數值上傳至ThingSpeak [10]網頁介面中顯示，並利用與其相容的軟體條件設定，使得量測數值在超出設定值時，由系統主動向相關人員手機發送即時通訊警報；第三，利用同一系列開發板ESP8266Wi-Fi功能建立個人化網頁，用來當作實施遠端設備控制及環境氣體監視的介面，這樣可以使得人員無須在現地，亦可實施視距外裝備操控；最後，利用ESP32開發板收集地區即時氣體相關資訊，提供監管人員進行分析，如此便可以比對不同資料來源，用於故障時強化屬於機械的失效、失準、故障或是地區的突發狀況的判定，本研究主要模擬應用於船舶的排煙監測及其所產生相對應的機械裝備之監管控制作為。除此之外，本研究所設計的遠端監控部分亦可應用於結合無人機模式，發展水面、水下之無人船舶，用以執行海洋環境監看、搜救、災害防治、探勘、密閉空間作業等危險工作，替代人員進入風險指數高的場所，以保障工作人員生命安全。

研究動機

背景說明

船舶運輸所消耗的能源密集且龐大，對環境造成的影響日益嚴重，成為全球各國政府關注的焦點[11]。探索其產生影響的根源，便是提供船舶各種裝備運作所需的大量能源，這些能源來自於燃燒燃料，而燃燒燃料的行為導致產生污染排放，對環境造成嚴重傷害[12]。諸如氮氧化物、硫氧化物及常見的一氧化碳等氣體，基於此背景，本研究旨在利用科

技手段設計一套現代化的船舶排煙檢測與分析系統，以優化船舶的能源消耗並減少碳排放。

海洋運輸是全球經貿發展交易中的重要組成部分，但在其帶給人類交流便利與其他益處，對環境的負面影響也不容輕視，船舶排煙中的氣體排放是主要的環境污染源之一，因此開發一套有效的排煙檢測系統尤為重要。本研究致力於開發一套智慧型船舶主機排煙檢測系統，結合綠色能源理念，以提升船舶能源效率，減少對環境的不良影響，因應日益嚴峻的氣候變化挑戰，同時推動船舶行業的環保和節能。

為了讓上述的目標可以具體的執行，本研究利用先進的嵌入式系統[13, 14]和數據分析技術，結合綠色能源理念與物聯網技術 [15]，針對船舶主機排煙進行檢測與分析，設計一套適用於船舶主機排煙的智慧型檢測系統。本研究使用ESP32和ESP8266兩款開發板，這些開發板具有適合本研究需求的特性，包括強大的運算能力、Wi-Fi和藍牙功能、以及對Arduino開發環境的支援。這些特性使得我們能夠設計出一套功能強大且高效的船舶排煙檢測系統，以應對日益嚴峻的環境挑戰。選用ESP32和ESP8266兩款開發板，主要考量因素是其具有以下特性，同時兼顧成本低廉、穩定度高與開發容易，屬於較易推廣的感測設備等綜合因素。

ESP32開發板：

1. 雙核處理器，運算能力強大。
2. 具備Wi-Fi和藍牙功能，可以依照需求調整為近距離或遠距離通訊監控。
3. 支援Arduino開發環境。
4. 更多GPIO腳位，方便連接外部感測裝置與控制設備。
5. 較快的Wi-Fi連接速度。

ESP8266開發板：

1. 單核處理器，適合輕量應用。
2. 具備Wi-Fi功能，可滿足本研究之超視距離監視控管需求。
3. 支援Arduino開發環境。

文獻回顧

吳等 [16]等多位學者於2023年，提出了一個基於光譜技術和硫碳比例法測量船舶燃料硫含量的決策法。運用高斯煙流模型 (Gaussian Plume Model) 進行最佳化，結果表明，基於差分光學吸收光譜法 (Differential Optical Absorption Spectroscopy, 簡稱DOAS) 的燃料硫含量評估方法能夠對船舶進行有效監控。該研究提供的監管手段提高執法效率，降低所需的人力、物力與財力和時間成本。

Lukas Anders等 [17] 多位學者於2023年，利用單顆粒質譜 (single-particle mass spectrometry, 簡稱SPMS) 中的新型電離技術，分析使用船用柴油 (Marine Gas Oil, 簡稱MGO) 運行的研究船發動機的一顆粒上的多環芳烴 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, 簡稱PAH)。運用PAH 模式對所有引

擎負載和顆粒尺寸穩定，且與其他熱解和石化 PAH 來源的典型特徵不同的特性。可以透過具有相同明顯 PAH 特徵的顆粒的瞬時出現來檢測 15-20 公里距離處單一船舶通道的煙流。

在智慧船舶技術領域，慈等[18]於2020年，在其研究中提出了一項全自動且無人化的智能船舶操作模式，其目的在於兼顧降低船上工作人員負擔的同時也能夠維持航行姿態。他們將此模式應用於船舶的壓艙水設計中。根據載重需求調整每個壓艙水櫃，藉由控制船舶航行的最佳吃水狀態和船艏差，達到維持船舶於最佳航行姿態的目標。此外，研究更進一步利用能源效率營運指數 (Energy Efficiency Operational Index, 簡稱EEOI) 分析最佳和最差吃水情況下的二氧化碳排放濃度，以達成船舶節能減碳的目的並改善使用效率。

在自主船科技研發範圍，李等 [19] 於2023年提出了一種自動航路規劃的方法，該方法基於地圖偏移技術和物聯網 (IoT) 科技，目的用於改善船舶在限制性水域中的航行安全性和效率。傳統方式通常依賴航海專業人員的經驗和人工手動操作，該研究透過導入地圖偏移技術以納入地形資料考量，將傳統操作過程轉為自動化。這項研究的實驗過程使用船舶操縱模擬器 (SMS) 結合物聯網技術，以獲取港口船席泊位資訊，並通過雲形線偏移方法 (spline offset method) 擴展地圖邊界，以確保船舶航路的安全性。最終，研究使用A*演算法規劃航路並驗證其在船舶模擬器上的可行性，以促進無人船舶技術的發展。

原理運用

本系統利用訊號分析相關理論，對船舶排煙進行檢測與分析。通過收集船舶排煙的相關數據，利用大數據分析和人工智慧技術，對排煙中的污染物進行檢測和分析，實現對船舶排煙的有效監測。

物理訊號轉換成電子訊號是訊號處理和通信系統中的基本步驟，它使我們能夠有效地處理和傳輸來自現實世界的物理量，物理訊號轉換成電子訊號是一個相當關鍵的過程，特別在訊號處理和通信系統中。讓我們來簡單探討一下這個轉變的過程：

物理訊號：

物理訊號指的是來自真實世界的量測或感測到的信號。例如，聲音、光、壓力、溫度、電壓等都是物理訊號。這些訊號可以是連續的(例如聲音波形)或離散的(例如溫度讀數)。

轉變過程：

將真實世界的物理訊號轉換成開發板可以判讀的電子訊號，才能夠進到下一步的訊號比對、處理、傳輸或存儲的過程。轉換過程涉及到使用感測器或儀器來測量物理量，然後將其轉換成電壓或電流信號。例如，麥克風將聲音波形轉換成電壓信號，溫度計將溫度轉換成電阻或電壓。本研究中便是將溫度、濕度與氣體濃度的物理量轉化為電子訊號提供給ESP32和ESP8266開發板執行比對、判讀或輸出的作業。

模擬訊號：

轉換後的電子訊號通常是模擬訊號，它們是連續的。模擬訊號可以表示為電壓波形，並且可以在時間上變化。如果我們希望將模擬訊號進一步處理，例如進行數學運算或存儲，我們需要將其轉換為數位訊號。數位訊號是離散的，通常用二進制表示(0和1)，即可以控制開、關、有、無等二元信號處理。這個轉換過程通常由類比數位轉換器(ADC)完成，相對的，如果要透過開發板控制相關設備，則可運用脈寬調變(Pulse-Width Modulation, 簡稱PWM)技術[20]，脈寬調變是一種用於控制設備的技術，通常用於調節電源輸出的平均功率。其原理運用簡略說明如下：在PWM中，藉由改變脈波信號的工作週期，即調整脈波在一週期波中開放時間與關閉時間之比例。透過改變脈波的寬度可以控制輸出的平均功率，達到調節設備速度、亮度或其他特性的目標。有效利用脈寬調變技術使得數位訊號也可達到類比訊號的效果，目前PWM技術已經廣泛應用於各種領域，在電機控制部分可調節電動馬達的速度，在日常或工業需求照明部分可用於調節燈光亮度，音訊處理的範圍，亦可執行播放音量的調整。

物理訊號轉換成電子訊號的過程通常涉及到一種稱為「感測器」的裝置。所謂感測器 [21, 22] 的功能是將一種形式的能量轉換成另一種形式的能量。例如，日常生活常見的麥克風就是將聲學訊號(物理訊號)轉換成電壓波形(電子訊號)的一種感測器。訊號處理是一個重要的領域，它涉及到訊號的轉換、濾波、調變、解調、檢測以及譜分析和估計等一系列的加工處理。這些過程都可能涉及到物理訊號轉換成電子訊號，或者反之。感測器在訊號處理中是個不可或缺的角色。除了麥克風之外，還有許多其他類型的感測器，如揚聲器、感測器、天線等，它們將不同形式的能量轉換為電子訊號，或者將電子訊號轉換為其他形式的能量。這些感測器的使用範圍廣泛，涵蓋了許多不同的應用領域，包括通信、音頻處理、儀器儀表、醫療設備等。訊號處理的核心任務之一是確保訊號在各種感測器之間的有效傳輸和轉換，以實現所需的性能和功能。

在物理訊號轉換成電子訊號的領域中，有許多常用的數學和物理方程式。傅立葉轉換(Fourier Transform, 簡稱FT)是一種在訊號處理中常用的數學工具，用於將時間域的訊號轉換到頻域。

常見應用範圍包括訊號分析：傅立葉轉換可以將一個訊號從時域轉換到頻域，或是由空間域轉換到波數域 [23-25]，這種特性使得我們能夠分析訊號中不同頻率成分的存在和運作。這對於理解訊號特性、檢測特定頻率的成分以及濾波器的選擇非常重要。

在數位通信系統中，傅立葉變換被用於將訊號轉換到頻域。在音訊處理領域，傅立葉變換用於將音訊信號轉換為頻譜表示，這有助於音訊壓縮、降噪、音訊合成等應用。在影像處理中，傅立葉變換被用於將影像轉換到頻域，這有助於影像的濾波、壓縮、增強和邊緣檢測等。

在物理訊號轉換成電子訊號的領域中，傅立葉變換的公式通常表示為：

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \dots\dots\dots(1)$$

同樣地，傅立葉逆變換則是將頻域的訊號轉換回時域：

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{i\omega t} dt \dots\dots(2)$$

其中，表示 $F(\omega)$ 訊號 $f(t)$ 的傅立葉變換， ω 是頻率， t 是時間。這個公式描述了訊號在時域 t 和頻域 ω 之間的轉換關係。

在物理訊號轉換成電子訊號的過程中，選用感測器是其中關鍵的因素，感測器的主要工作是將真實世界所測得的物理量轉換成電子訊號，這個過程為接下來的訊號處理和分析程式建構了資料庫。而傅立葉轉換有助於我們分析訊號中不同頻率成分的存在和運作。

實驗架構設計

智慧型船舶主機排煙檢測系統的設計包括感測器、數據收集和儲存、數據分析和使用者介面等主要關鍵部分。該系統能夠即時監測排煙中的污染物濃度，並通過數據分析提供決策及警示。本研究設計了一套智慧型船舶主機排煙檢測與分析系統。該系統主要包括硬體設施和軟體程式兩部分。在硬體設施方面，我們使用ESP32和ESP8266等開發板，搭配了電子顯微鏡、氣體感測器等設備。在軟體程式方面，我們利用Arduino、MATLAB、HTTP等相關技術進行程式開發，實現對船舶排煙的檢測與分析功能，研究架構示意，如圖1。

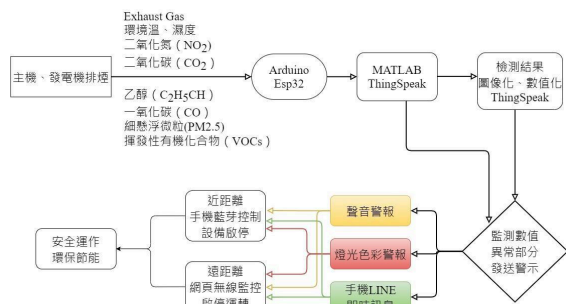


圖 1: 本研究設計規劃系統運作程序示意圖

適當的感測器選擇相當重要。船舶排煙中的主要污染物包括 NO_x 、 SO_2 和PM等。氣體感測器、光學傳感器和細懸浮微粒檢測器等是常用的感測元件。選擇時考慮因素包括靈敏度、精度和準度、可靠性、使用壽限和成本等因素。

工業與實驗常見的氣體感測器包括紅外線氣體感測器、熱導式氣體感測器、半導體氣體感測器、電化學氣體感測器、催化燃燒式氣體感測器等。在本研究中，選擇取得容易、價格合理且使用簡便且相容於Arduino的MQ系列感測元件[26]。常見的氣體感測器詳細說明，如表1。

表 1: 常見氣體感測器

種類	所能偵測氣體種類
MQ-2	甲烷、丁烷、液化石油氣(LPG)、煙
MQ-3	酒精、乙醇、煙霧
MQ-7	一氧化碳(CO)
MQ-8	氫氣(H_2)
MQ-135	細懸浮微粒(PM 2.5)
MQ-136	硫化氫 (H_2S)

本研究規劃設置數個不同的氣體感測器於船舶排煙通道出口偵測數值，另外透過政府公開資料取得當地氣體數值區分參考值與比對值觀察氣體變化趨勢，定期量測記錄變化情形，經由不同通訊手段將所蒐集的氣體感測數值傳送至網頁，並依狀況採取適當之控制手段，當氣體感測數值濃度超出正常設定範圍時，由系統主動利用Line Notify 發送即時警告訊息通知相關人員，同時透過遠端操控平臺，將所要控制的設備，如通風、燈光、馬達等依照需求予以開啟或關閉，以達到機械設備廠房安全管控的目標。

研究過程考量商用智慧型設備搭載船舶狀況，所需時間、人力和財力、物力之外，亦將對原有設計的電力產生干擾及整合相容的問題，本研究將本次智慧型船舶科技發展重點定義在整合應用，因此，研究規劃利用無線傳輸設備，配合安全穩定的氣體感測元件。

本研究智慧型船舶主機排煙檢測系統主要包括以下四個部分：

藍芽控制:利用ESP32的藍芽功能，結合手機應用程式設定，人員可以透過手機對船舶設備發送指令，控制特定設備的開啟或關閉，滿足在近距離、非接觸的控制需求。

即時監測:ESP32將溫度、濕度和氣體感測數值上傳至ThingSpeak網頁介面，並在超出設定值時向相關人員手機發送即時通訊警報，使值勤人員可以透過網路，隨時得知機器運轉現況，如圖2-5所示。

遠端控制:利用ESP8266建立個人化網頁，實施遠端設備控制及環境氣體監視，使人員無須在現場，亦可實施視距外裝備操控，操作畫面如圖6所示。

資料收集與分析:ESP32收集即時地區氣體相關資訊，提供監管人員進行分析，用於故障判定和改善排放氣體中的有害成分。

本研究整合利用物理訊號轉換電子訊號處理，將其運用為控制手段，配合物聯網的無時間、空間限制的特性，藉由網路伺服器充當中繼站功能實施訊息傳播，將航行中船舶所監測的氣體與所在環境數據，透過網路回傳至ThingSpeak網頁介面中，以圖示化、數位化方式顯示，有利集中監視管理，預防故

障並提前備料等優勢。優化傳統機械管理耗費大量的人力、時間和物力等成本問題。

再以ThingSpeak網頁介面支援之軟體，設定所需的上下限值，讓氣體在超出設定範圍時，以通訊協定觸發應用程式，促使發送 LINE Notify 即時告警訊息，接續依裝備現況，可以選用智慧物聯網 ESP32/ ESP8266的Wi-Fi功能執行遠端設備操控，或改以近距離非接觸式的藍牙控制。研究中的遠端控制是藉由 Wi-Fi功能連接上網，自行製作個人化網頁介面達成監視與控制功能，監管過程若氣體感測器偵測數值超過設定範圍值，便傳送即時告警訊息至有關人員，使其可利用網路介面設置的裝備放停開關實施遠端操控，達到即時控管目的，節約運輸來往實地現場所耗費的時間、人力、物力成本及其所可能衛衍生的風險，提升整體營運管理成效。

圖 2: ESP32即時上傳監測資料

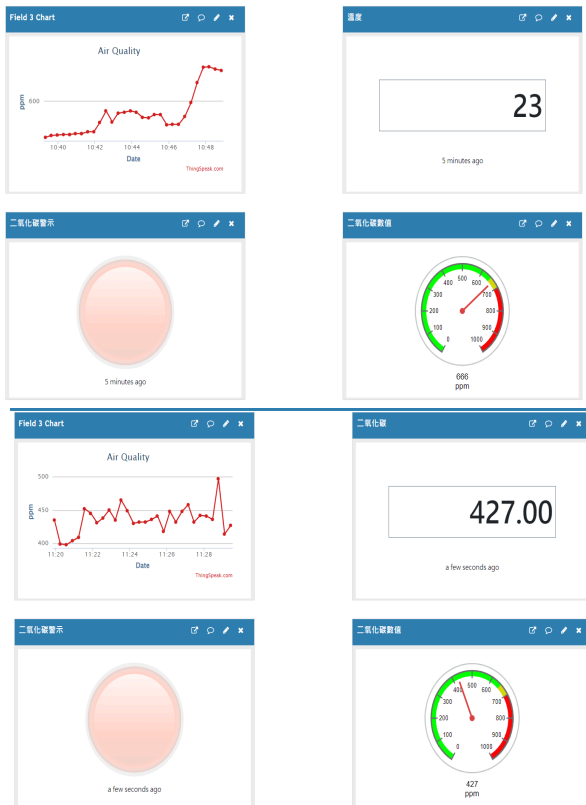


圖 3: 即時上傳監測資料隨時間變化

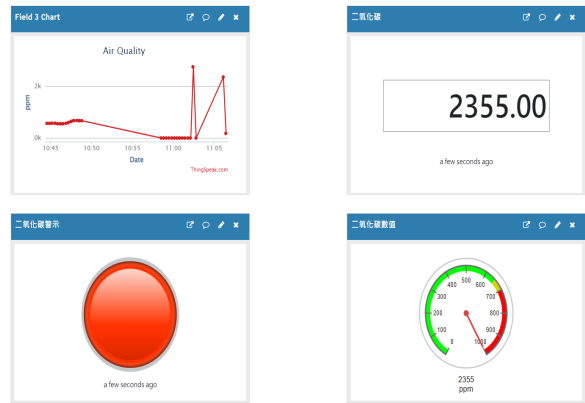


圖 4: 感測數值超出時，圖像顯示顏色改變

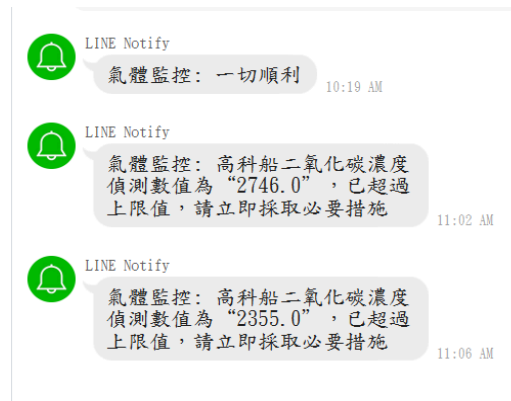


圖 5: 感測數值超出時發送即時通訊警報。

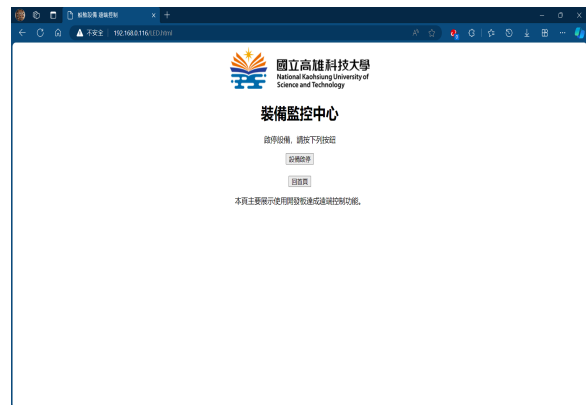


圖 6: 個人化網頁的船舶監控中心畫面

結果與討論

在本研究中，我們首先使用ESP32開發板的藍芽功能，以Arduino程式結合手機應用程式設定，將ESP32開發板與使用者手機實施藍芽配對，完成後即可實現對船舶設備的遠端控制。藉由手機應用程

式，操作人員可以在近距離且非接觸的情況下，對特定設備進行開啟或關閉操作。研究中，以文字形態輸入模式、數字訊息操控及語音控制等不同方式實施驗證，並轉換以手機和個人電腦對開發板實施控制，執行結果均能達到在近距離非接觸的情況下依使用者的命令完成控制，操作狀況示意圖如圖7-10。

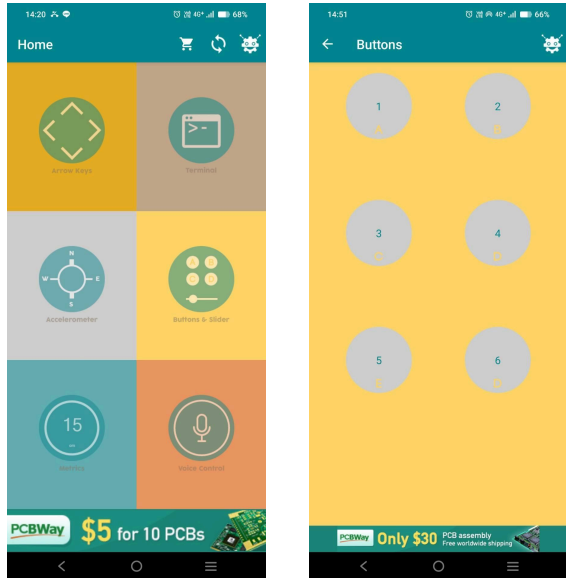


圖 7: 手機應用程式畫面(左)、數字訊息操控(右)

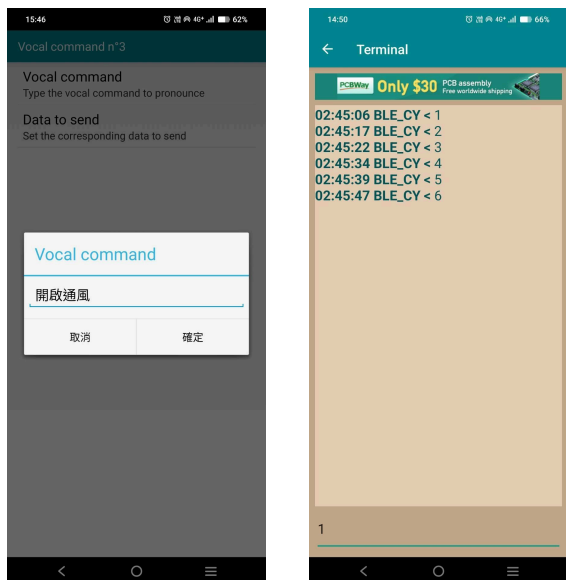


圖 8: 手機語音控制(左)文字輸入操控(右)

研究在指令中設定數字1至0等十個指令，分別控制五種不同設備的啟停狀況，除了不同色系的燈光外，另外也將通風設備及聲音控制設備加入本項設計，此種利用藍芽控制系統可以為船舶操控管理提供

了便捷、靈活且彈性的方式，同時提高了設備的操作效率，保障人員安全。

```

if (BT.available ())
    {Serial.println ("");}
while (BT.available ())
    {
    char btdata=BT.read ();
    if (btdata=='1') {digitalWrite (4, HIGH); }
    if (btdata=='2') {digitalWrite (4, LOW); }
    if (btdata=='3') {digitalWrite (2, HIGH); }
    if (btdata=='4') {digitalWrite (2, LOW); }
    if (btdata=='5') {digitalWrite (15, HIGH); }
    if (btdata=='6') {digitalWrite (15, LOW); }
    if (btdata=='7') {digitalWrite (1, HIGH); }
    if (btdata=='8') {digitalWrite (1, LOW); }
    if (btdata=='9') {digitalWrite (3, HIGH); }
    if (btdata=='0') {digitalWrite (3, LOW); }
    BT.println ("Hello World");
    delay (1000);
}
    
```

圖 9: 控制開發板之部分Arduino程式

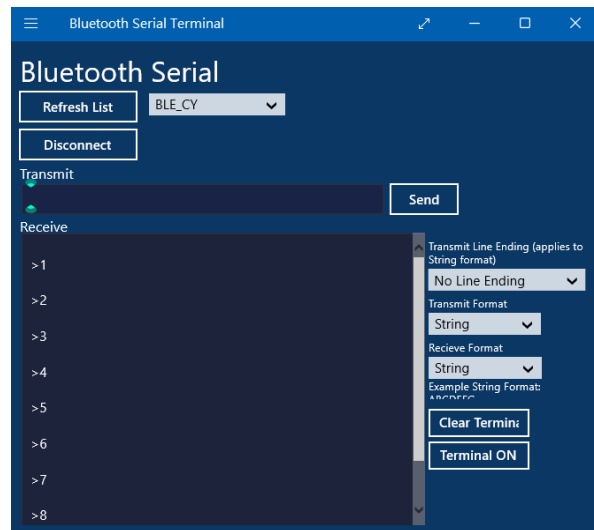


圖 10: 由個人電腦對開發板實施操控

除了安排設計近距離的藍芽控制外，本研究也針對ESP32開發板的Wi-Fi功能執行即時監測功能驗證，實驗將開發板所在位置的溫度、濕度和氣體感測數據即時上傳至ThingSpeak網頁介面。觀察結果可依時間不同持續提供感測數值資訊，並且在數據超出設定值時，同時將網頁畫面顯示紅色警告訊號，並由系統主動將向相關人員手機發送即時通訊警報，提醒值勤人員關注機器運轉狀況，及時執行裝備運轉狀況檢查或變更，操作顯示狀況如圖11-21。本項設計不僅提高了機器運轉的安全性，還提供了及時的數據反饋，有助於管理人員及時掌握船舶狀況並控處置改變裝備運轉狀況。



圖 11: 感測數據上傳至ThingSpeak網頁介面

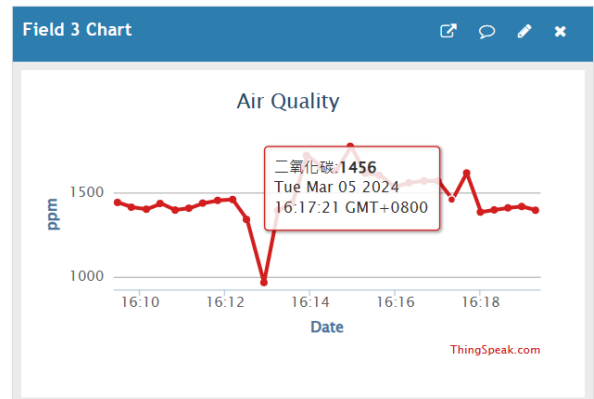


圖 14: 針對個別氣體感測點可顯示量測資訊

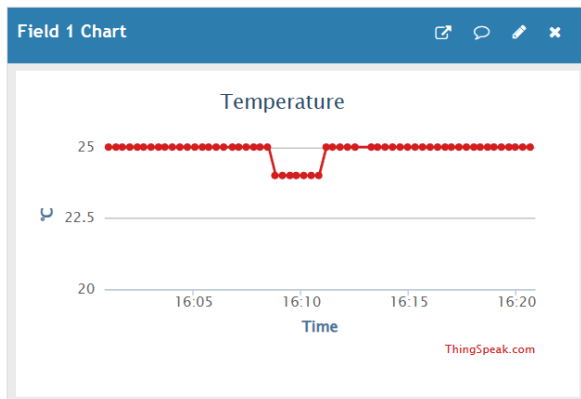


圖 12: 即時上傳感測溫度數值

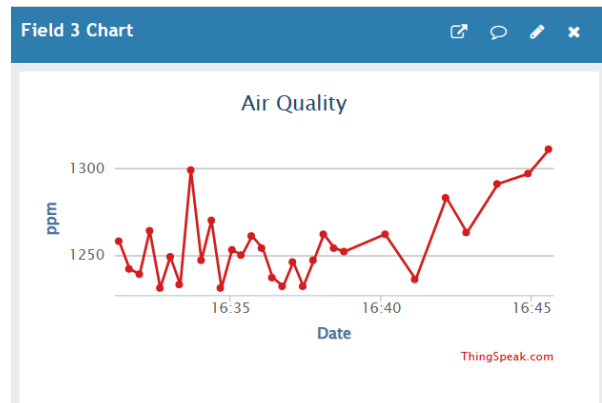


圖 15: 圖示化顯示氣體感測趨勢

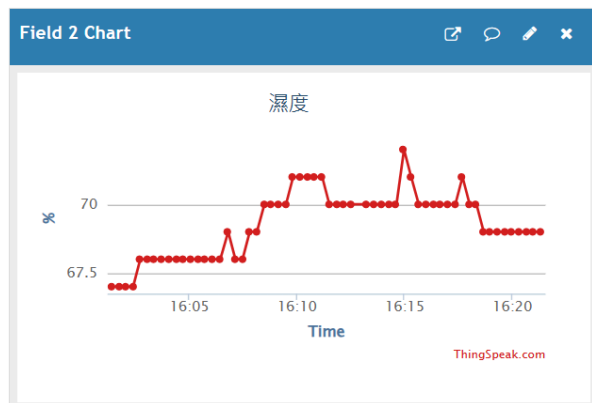


圖 13: 即時上傳濕度數值提供人員判讀

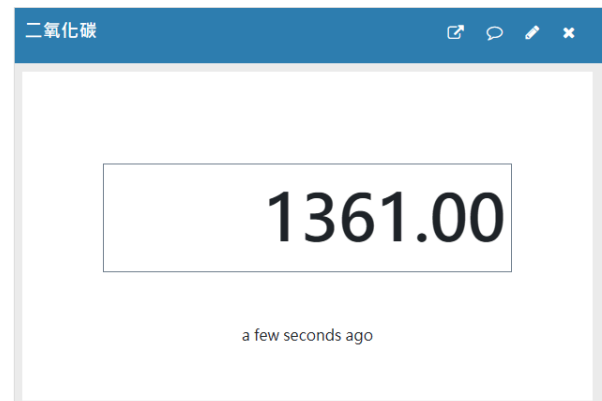


圖 16: 數位化顯示數值, 降低人員誤判的可能性



圖 17:以顏色區分不同等級威脅

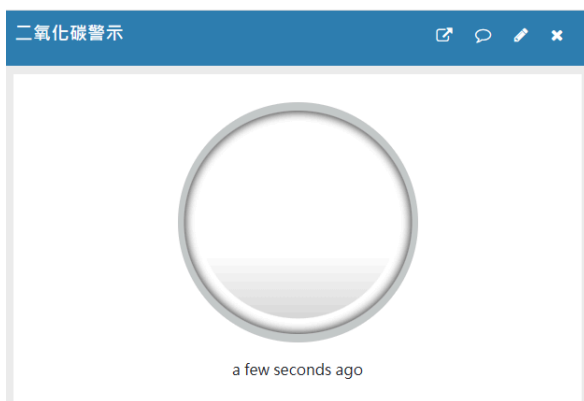


圖 18:警報畫面正常顯示



圖 19:警報畫面作動時顯示畫面

Name:	React 1
Condition Type:	Numeric
Test Frequency:	On data insertion
Last Ran:	2024-03-05 08:52
Channel:	溫濕度與二氧化碳監控
Condition:	Field 3 (二氧化碳) is greater than 750
ThingHTTP:	二氧化碳濃度超標
Run:	Each time the condition is met

圖 20:設定限制數值讓氣體超出範圍時觸發

Name:	二氧化碳濃度超標
API Key:	LPSJ4B199V04NLE7
Regenerate API Key	
URL:	https://notify-api.line.me/api/notify
HTTP Auth Username:	
HTTP Auth Password:	
Method:	POST
Content Type:	application/x-www-form-urlencoded
HTTP Version:	1.1
Host:	
Headers:	Name: Authorization Value: Bearer UTvUB81BXafqkQn0LmkRCxExOgDaYg4zPgGzetry0p
Body:	message=高科船二氧化碳濃度偵測數值為"%trigger%"，已超過上限值，請立即採取必要措施

圖 21:條件成立觸發，發送手機即時告警

在遠端控制實驗部分，我們使用ESP8266開發板結合軟體程式建立了個人化網頁，這個設計使得遠端設備控制及環境氣體監視可以同步進行如圖22。如此設計即可驗證操作人員無需親自到現場，只需通過網頁就可以對船舶設備進行遠端操控。這一舉措極大地提高了操作的便利性和靈活性。更重要的是，系統能夠提供即時更新的氣體相關資訊，讓

管理人員能夠快速進行故障判斷和排放氣體的分析，迅速做出應對措施，有效提升安全指數如圖23。



圖 22: 同步實施遠端設備控制及環境氣體監視

在操作方面，研究不僅執行了一般裝備的啟停功能驗證，還增加了對裝備轉速的調整控制。意味著工作人員可以根據實際情況調整設備的運轉速度，而這些操作都能即時地反映在網頁上，並且無需擔心通訊延遲問題。這種即時性的監控和操作能夠確保在任何情況下都能及時採取必要措施，保障船舶安全運行和排放監控如圖24，當然以上由ESP8266所執行的，換用ESP32也同樣可以，研究之所以採用不同開放板的用意是，在應急情況下可以有替代用品成為另一個選項可以選擇，讓裝備維護多一種方法可以考量。



圖 23: 使用者可透過網頁執行遠端控制



圖 24: 使用者可依需求調整裝備轉速

在資料收集與分析方面，為提供使用人員擁有更豐富的資訊來源，實施故障研判，研究整合應用Wi-Fi與HTTP功能，利用ESP32開發板結合政府公開資訊，收集即時地區氣體相關資訊。這些主要選取的數據包括空氣品質指標（Air Quality Index，簡稱AQI）、二氧化硫(Sulfur Dioxide，簡稱SO₂)、二氧化氮(Nitrogen Dioxide，簡稱NO₂)、氮氧化物(Nitrogen Oxides，簡稱NO_x)，以及一氧化碳(Carbon monoxide，簡稱CO)等信息，範例中選用校區所在地楠梓與左營提供比對如圖25-27，並通過網路傳輸到監管設備所在處所。

透過研究設計的資料收集不僅可以提供即時的氣體分布狀況，更能夠提供關於排放氣體中有害成分的有用訊息。監管人員可以利用這些數據進行深入的分析，瞭解週期內的趨勢走向，更進一步用來實施故障判定和改善排放氣體中的有害成分的目標。這樣的監測和分析過程對於保障船舶運行安全、環境保護和減少碳排放具有重要的意義。

```

10:22:37.877 ->      "sitename": "楠梓",
10:22:37.924 ->      "county": "高雄市",
10:22:37.924 ->      "agi": "66",
10:22:37.924 ->      "pollutant": "細懸浮微粒",
10:22:37.924 ->      "status": "普通",
10:22:37.924 ->      "so2": "0.9",
10:22:37.924 ->      "co": "0.43",
10:22:37.924 ->      "o3": "13.2",
10:22:37.924 ->      "o3_8hr": "12.2",
10:22:37.924 ->      "pm10": "40",
10:22:37.924 ->      "pm2.5": "26",
10:22:37.924 ->      "no2": "16.5",
10:22:37.924 ->      "nox": "23.3",
10:22:37.924 ->      "no": "6.7",
10:22:37.924 ->      "wind_speed": "1",
10:22:37.924 ->      "wind_dir": "37",
10:22:37.924 ->      "publish_time": "2024/03/07 10:00:00",
10:22:37.924 ->      "co_8hr": "0.4",
10:22:37.924 ->      "pm2.5_avg": "21.4",
10:22:37.970 ->      "pm10_avg": "34",
10:22:37.970 ->      "so2_avg": "0",
10:22:37.970 ->      "longitude": "120.328289",
10:22:37.970 ->      "latitude": "22.733667",
    
```

圖 25: 楠梓地區即時氣體監測數值

```

10:22:39.785 -> "sitename": "左營",
10:22:39.785 -> "county": "高雄市",
10:22:39.785 -> "aqi": "71",
10:22:39.785 -> "pollutant": "懸浮微粒",
10:22:39.785 -> "status": "普通",
10:22:39.785 -> "so2": "1.7",
10:22:39.785 -> "co": "0.53",
10:22:39.785 -> "o3": "16.9",
10:22:39.785 -> "o3_8hr": "12.4",
10:22:39.785 -> "pm10": "42",
10:22:39.785 -> "pm2.5": "29",
10:22:39.785 -> "no2": "18.4",
10:22:39.785 -> "nox": "24.7",
10:22:39.785 -> "no": "6.3",
10:22:39.785 -> "wind_speed": "1.2",
10:22:39.785 -> "wind_dir": "326",
10:22:39.785 -> "publishtime": "2024/03/07 10:00:00",
10:22:39.832 -> "co_8hr": "0.5",
10:22:39.832 -> "pm2.5_avg": "23.5",
10:22:39.832 -> "pm10_avg": "33",
10:22:39.832 -> "so2_avg": "1",
10:22:39.832 -> "longitude": "120.292917",
10:22:39.832 -> "latitude": "22.674861",

```

圖 26: 左營地區即時氣體監測數值

```

10:13:25.390 -> 楠梓
10:13:25.390 -> AQI: 66
10:13:25.390 -> So2: 0.9
10:13:25.390 -> No2: 16.5
10:13:25.390 -> Nox: 23.3
10:13:25.390 -> Co: 0.43
10:13:26.416 -> 左營
10:13:26.416 -> AQI: 71
10:13:26.416 -> So2: 1.7
10:13:26.416 -> No2: 18.4
10:13:26.416 -> Nox: 24.7
10:13:26.416 -> Co: 0.53
10:13:27.633 -> 楠梓
10:13:27.633 -> AQI: 66
10:13:27.633 -> So2: 0.9
10:13:27.633 -> No2: 16.5
10:13:27.633 -> Nox: 23.3
10:13:27.633 -> Co: 0.43
10:13:28.662 -> 左營
10:13:28.662 -> AQI: 71
10:13:28.662 -> So2: 1.7
10:13:28.662 -> No2: 18.4
10:13:28.662 -> Nox: 24.7
10:13:28.662 -> Co: 0.53

```

圖 27: 即時地區氣體分布數值資訊

綜合以上所述，本研究的實驗結果顯示，所設計的智慧型船舶主機排煙檢測與分析系統結合運用藍芽控制系統、即時監測系統和遠端控制系統在船舶管理中具有重要的應用價值，結果顯示系統可以自動化監測，並依數值變化即時發出警訊，也可以手持通訊裝置或個人電腦進行無時差無遲滯的監管及控制，可以提高船舶設備的操作效率、安全性和

管理效能，也為船舶管理和環境保護工作提供了另一個可以思考的解決方案。

此外，該系統還可以結合人員無人機模式，執行監看、搜救、災害防治、探勘、密閉空間作業等危險工作，從而保障人員的生命安全。

檢討分析本研究系統的優勢與不足。系統具有操作簡單、安裝方便及圖像化、數位化顯示使人員易懂的特點，可以有效地檢測到排煙中的各種污染物，能夠依距離、安全需求選用對裝備實施操控。

未來的研究中尚須努力方向說明：首先，船舶排煙檢測系統對於精度、準度及可靠性和靈敏度有較高的要求。其次，需要能夠應對不同運轉條件變化及不可預測的海象狀況。再者，檢測系統需要具備同時檢測多種污染物，並具進行區分和分析的能力。船舶排煙檢測系統需要整合多種檢測技術，包括各類感測器、光學儀器、頻譜儀等，且檢測產生的數據量龐大，如何有效進行處理和分析，提取富含價值的信息，對船舶運行狀態進行評估和預測，是個重要的研究課題。解決這些挑戰和缺口需要跨學科的合作和創新技術的應用，包括感測技術、數據處理技術、人工智能和機器學習等。

參考文獻

- [1] 江岱錦, "硫排放管制區船舶航線與速度最佳化問題之研究," 2020.
- [2] 陳羿碩, "利用快速傅立葉小波包訊號轉換 應用於提升表面粗糙度預測模型準確率之研究," 碩士, 工業與系統工程學系, 中原大學, 2023年, 2023.
- [3] 陳思儒 and 林勇志, "馬達異常狀態監控技術研究," 機械工業雜誌, no. 488, pp. 46-50, 2023.
- [4] 罗汉江, 卜凡峰, 王京龙, and 杨玉婷, "海洋物联网水面及水下多模通信技术研究进展," 山东科技大学学报 (自然科学版), vol. 42, no. 1, 2023.
- [5] 許智勇, 張慶原, 朴鐘德, and 慈復明, "智慧型排煙檢測於船舶主機的設計," 船舶科技, no. 56, pp. 54-67, 2022.
- [6] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntič, and O. Težak, "Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices," *Sensors*, vol. 23, no. 15, p. 6739, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/15/6739>
https://mdpi-res.com/d_attachment/sensors/sensors-23-06739/article_deploy/sensors-23-06739-v2.pdf?version=1690514667.
- [7] R. F. Nugraha, F. N. Husna, S. Sandi, A. F. Syahla, Y. A. Saputra, and R. Hidayat, "Smart Air Quality Guardian: Pengawasan Polusi Udara Berbasis ESP32

- dengan Sensor Gas MQ-2 dan MQ-135," *Jurnal Komputer dan Elektro Sains*, vol. 2, no. 2, pp. 1-7, 2024.
- [8] D. Y. M. Rao, B. Surendra, K. Govardhan, A. M. Reddy, B. Mallikarjuna, and P. S. Basha, "AN IOT BASED SMART E-FUEL STATION USING ESP-32," *International Journal of Social Science, Educational, Economics, Agriculture Research and Technology*, vol. 2, no. 5, pp. 29-36, 2023.
- [9] G. Karuna, R. R. Kumar, S. Gopaldas, V. Parvathaneni, and T. Lokesh, "Air Quality and Hazardous Gas Detection using IoT for Household and Industrial Areas," in *E3S Web of Conferences*, 2023, vol. 391: EDP Sciences, p. 01146.
- [10] W. S. L. Nasution and P. Nusa, "IMPLEMENTATION OF THE INTERNET OF THINGS (IOT) FOR REMOTE LIGHT CONTROL USING NODEMCU ESP8266 AND THINGSPEAK VIA WEBSITE-BASED INTERNET," *Journal of Computer Science and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 33-39, 2023.
- [11] V. Arya, A. P. Vinod, and P. S. Babu, "Carbon footprint levels and recommendations for sustainable shipping industry," *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*, vol. 12, 2024.
- [12] D. Thakur, S. Balabantaray, R. Mishra, A. Rastogi, S. Gupta, and M. Bikhani, "Fuel Type Forecasting Based on Co2 Emissions: Aharris Hawk's Optimization Based Machine Learning approach," *Available at SSRN 4675955*.
- [13] B. M. Kannan, P. Solainayagi, H. Azath, S. Murugan, and C. Srinivasan, "Secure Communication in IoT-enabled Embedded Systems for Military Applications using Encryption," in *2023 2nd International Conference on Edge Computing and Applications (ICECAA)*, 2023: IEEE, pp. 1385-1389.
- [14] S. Chattopadhyay, *Embedded System Design*. PHI Learning Pvt. Ltd., 2023.
- [15] 吳瑞北 and 賴怡吉, 物聯網 DEF. 國立臺灣大學出版中心, 2023.
- [16] H. Wu, C. Wang, E. Chen, and Z. Ye, "Development of a spectrum-based ship fuel sulfur content real-time evaluation method," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 188, p. 114484, 2023.
- [17] L. Anders *et al.*, "Detection of ship emissions from distillate fuel operation via single-particle profiling of polycyclic aromatic hydrocarbons," *Environmental Science: Atmospheres*, vol. 3, no. 8, pp. 1134-1144, 2023.
- [18] 慈復明, 吳本宥, 林冠勳, 黃啟倫, and 陳胤銘, "智慧船舶自動壓艙水系統的研究," *船舶科技*, no. 53, pp. 1-9, 2020.
- [19] 李信德 and 周子宸, "自主船舶於限制水域之自動航路規劃以地形偏移法結合IOT為研究," *中國造船暨輪機工程學刊*, vol. 42, no. 2, pp. 109-119, 2023.
- [20] S. Chatterjee and A. Das, "A review on technological aspects of different PWM techniques and its comparison based on different performance parameters," *International Journal of Circuit Theory and Applications*, vol. 51, no. 5, pp. 2446-2498, 2023.
- [21] N. S. Baqer, H. Mohammed, and A. Albahri, "Development of a real-time monitoring and detection indoor air quality system for intensive care unit and emergency department," *Signa Vitae*, vol. 19, no. 1, 2023.
- [22] J. Wang, S. Viciano-Tudela, L. Parra, R. Lacuesta, and J. Lloret, "Evaluation of Suitability of Low-Cost Gas Sensors for Monitoring Indoor and Outdoor Urban Areas," *IEEE Sensors Journal*, 2023.
- [23] S. Qiao, "A comparative analysis of mathematical transformations for signal processing," in *International Conference on Signal Processing and Communication Technology (SPCT 2022)*, 2023, vol. 12615: SPIE, pp. 211-218.
- [24] T. H. Wan, C. W. Tsang, K. Hui, and E. Chung, "Anomaly detection of train wheels utilizing short-time Fourier transform and unsupervised learning algorithms," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 122, p. 106037, 2023.
- [25] C. Ma *et al.*, "Fine Classification Method for Massive Microseismic Signals Based on Short-Time Fourier

Transform and Deep Learning," *Remote Sensing*, vol. 15, no. 2, p. 502, 2023.

- [26] 曹永忠, 許智誠, and 蔡英德, *Ameba 程式教學 (MQ 氣體模組篇): Ameba RTL8195AM Programming (MQ GAS Modules)*. 崧燁文化, 2022.