

國防部 113 年度
「補助軍事院校教師(官)從事學術研究」結案報告

研究計畫名稱:
結合 Arduino 超音波感測器導入雷達原理與實作課程之教學方法與應用



委託單位:國防部(空軍司令部)

研究單位:空軍航空技術學院

研究計畫主持人:空軍航空技術學院
航空電子工程科吳峰蒼助理教授

共同主持人:空軍航空技術學院
航空通電系廖家德副教授

國防部編印

摘要

本研究計畫針對雷達原理課程，設計並實作了一系列基於 **Arduino** 開發板與超音波感測器的應用專案，涵蓋了超音波測距、倒車雷達、測速槍及雷達掃描模擬顯示等功能。計畫的核心目標在於將理論知識與實作教學相結合，通過「做中學」的教學方式，幫助學生在實際操作中理解雷達系統的基本原理與應用。課程中，學生透過組裝硬體、撰寫程式碼及進行功能測試，熟悉了感測器數據處理與應用技術，進一步提升了學習的趣味性與實用性。研究結果表明，這種實作導向的教學方法顯著增強了學生的學習興趣、動機與參與度，並促進了他們的問題解決能力及團隊合作精神。此外，該方法具有廣泛的應用潛力，特別是在軍事教育改革領域，能夠幫助學生適應部隊需求，增強對雷達裝備的操作技能，為未來的專業技術發展奠定堅實基礎。本計畫不僅實現了教學目標，也為創新課程設計提供了參考模式，具有重要的教育意義與應用價值。

關鍵字: 雷達原理、**Arduino**、超音波感測器、感測器應用。

Abstract

This research project was designed to enhance the teaching of radar principles by implementing a series of hands-on projects utilizing Arduino development boards integrated with ultrasonic sensors. These projects included distance measurement, parking radar, speed detection, and radar scanning simulation displays. The primary objective was to bridge the gap between theoretical knowledge and practical application, enabling students to grasp the fundamental principles and applications of radar systems through experiential learning. Students actively participated in assembling hardware, coding, and testing functionalities, gaining proficiency in sensor data processing and application. This practical-oriented teaching approach significantly boosted students' interest, motivation, and engagement in learning, as well as fostered their problem-solving abilities and teamwork skills. Furthermore, the project demonstrated strong potential for broader applications, particularly in military education reform, where it could prepare students to meet the operational demands of military units while enhancing their technical skills in radar equipment operation. This project not only achieved its educational objectives but also provided an innovative framework for curriculum design, offering valuable insights for future educational practices. The outcomes underscore the importance of integrating hands-on methodologies in technical education and highlight its substantial educational and practical contributions.

Keywords : Radar Principles 、 Arduino 、 Ultrasonic Sensors 、 Sensor Applications

目次

摘要.....	i
Abstract.....	ii
1. 緒論.....	1
1.1 研究緣起與背景.....	1
1.2 研究目的及研究重點.....	2
1.3 研究架構.....	4
1.4 執行流程.....	7
1.5 預期效益與對軍事教育改革潛力.....	7
2. 文獻探討.....	8
2.1 雷達系統.....	8
2.2 超音波雷達感測器.....	11
2.3 Arduino 基本介紹.....	21
3. 系統實作與介紹.....	24
3.1 系統硬體介紹.....	24
3.2 超音波測距離專案.....	27
3.3 超音波倒車雷達.....	31
3.4 超音波測速槍.....	32
3.5 Arduino 超音波雷達物體掃描及模擬顯示	33
4. 結論.....	35
參考資料.....	36
個人資料表.....	37
任務編組表.....	38

圖次

圖 1 (a)脈衝波雷達與(b)FMCW 雷達.....	1
圖 2 Arduino Uno 開發板.....	3
圖 3 超音波感測器.....	3
圖 4 超音波測距原理.....	3
圖 5 簡易雷達架構方塊圖.....	5
圖 6 超音波測距離電路示意圖.....	5
圖 7 超音波測距電路實體呈現.....	5
圖 8 超音波倒車雷達電路示意圖.....	6
圖 9 超音波雷達螢幕顯示.....	6
圖 10 超音波雷達掃描電路實體呈現.....	6
圖 11 超音波傳感器結構.....	12
圖 12 傳感器應用示意圖.....	13
圖 13 發射傳感器設計示意圖.....	13
圖 14 接收傳感器設計示意圖.....	13
圖 15 收發一體傳感器設計示意圖.....	13
圖 16 一體型超音波感測器.....	17
圖 17 分體型超音波感測器.....	17
圖 18 高頻型超音波感測器.....	17
圖 19 開放型超音波感測器.....	17
圖 20 Arduino uno 示意圖.....	22
圖 21 Arduino 的 IDE 介面.....	23
圖 22 Arduino 開發環境介面.....	26
圖 23 HC-SR04 超音波測距示意圖.....	28
圖 24 HC-SR04 超音波脈波運作示意圖.....	28
圖 25 超音波測距電路.....	29
圖 26 超音波測距程式碼.....	29
圖 27 超音波測距實際電路呈現 1.....	30
圖 28 超音波測距實際電路呈現 2.....	30
圖 29 超音波倒車雷達實際電路.....	31
圖 30 超音波倒車雷達模擬電路.....	31
圖 31 超音波測速槍電路輸出顯示.....	32

圖 32 超音波測速槍模擬電路 32

圖 33 超音波雷達物體掃描及模擬顯示 1 33

圖 34 超音波雷達物體掃描及模擬顯示 2 33

圖 35 超音波雷達物體掃描及模擬顯示 3 34

1. 緒論

1.1 研究緣起與背景

空軍航空技術學院二專班學生的來源，近年來已呈現「多元化」的招生政策，允許不同背景和經歷的學生進入學校，吸引了來自不同學科背景的學生，這使得學生的來源更加多樣化，呈現多元化的積極現象，有助於促進不同文化、思想和經歷之間的交流，但是，不同背景的學生在學術能力上存在非常大的差異，這導致一些學生在學習上感到挫敗，同時也給教師帶來教學上的挑戰，例如：不同背景的學生可能在學術資源上存在不平均，這可能包括先前教育的質量、教材等，教師需要考慮到這種不均衡，努力提供額外的支持和資源，以確保每位學生都能夠參與到學術活動中。

航電科二專班的畢業分發專長是屬於修護職類，部隊「7G 雷達修護士」獲補來源大多是本科的畢業生，因此，「雷達原理」這門課是本科的核心課程及必修課程，然而，卻也是學生最痛恨的課程之一。雷達（RADAR），是英文「Radio Detection and Ranging」（無線電偵測和定距）的縮寫及音譯，雷達其基本的功能是利用目標物對電磁波的散射或回射波而發現目標，將電磁能量以定向方式發射至空間之中，藉由接收空間內存在物體所反射之電波，可以計算出該物體之方向、高度、速度、相對距離，並且可以探測物體的形狀，將這些所得的訊息經過一連串的訊號處理，並轉換成我們可以簡單明瞭的顯示。

「雷達原理」學理課程是一門牽涉到電磁波、信號處理、天線設計、目標識別等多個領域的複雜課程，它涉及多個學科領域，包括電磁場理論、信號處理、微波工程、電路設計等。「學生」需要具備紮實的電磁學和數學基礎，需要理解和解決微分方程、積分方程等高級數學問題，同時能夠將這些知識應用於實際雷達系統的設計和優化，這對學生來說是個非常困難的挑戰，根據多次的課程期末回饋意見，此課程對於大多數的學生是非常無趣，呈現無心學習的趨勢走向。學生無心學習對於授課教師也是另一項挑戰，如何在大部份是「數學式」呈現的雷達課程加入提升學生學習的創新元素？以激發學生的學習興趣並提高參與度。

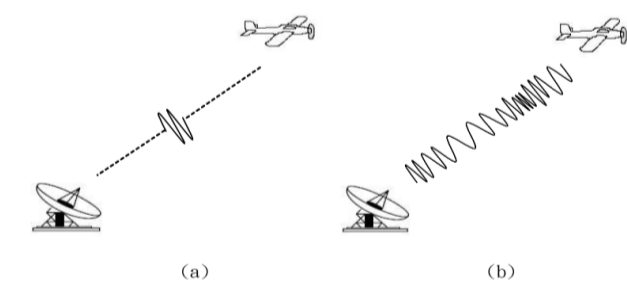


圖 1 (a)脈衝波雷達與(b)FMCW 雷達

1.2 研究目的及研究重點

雷達為目前偵測移動物體最普遍的方法之一，雷達藉著高頻電路產出高功率電磁波，此電磁波經由天線輻射出去形成雷達波。當發射出去的雷達波在空間行進的過程中，隨著觸碰到物體部分的散射及反射，電磁波經由雷達的接收天線回到接收端，稱之為回波；回波再經過濾波、放大等，混波…程序處理，與發射波相對應比較，得以偵測出目標是否存在，進而可以決定其距離、方向、高度、速度…和其他資訊，並藉顯示器加以顯示出來，此即為雷達之基本原理。

空軍航空技術學院屬「技職教育體系」，校務發展目標「精進實務應用研究」，因此，系科於教學上致力於以「實務教學」及「實作與創新能力培養」作為核心價值，透過實作課程增加學習成效及增加學生學習興趣，是本研究工作的意義和重要性。

以本研究提出 Arduino 開發板結合超音波距離感測器控制其發射與接收，實作並實現雷達原理的相關應用，我們以「做中學」和「學中做」的教學方式來導入艱深學理課程，採用實作真實感的方式，讓學生瞭解到雷達相關實作原理，但不需要詳細的推算雷達接收與傳送的複雜數學公式，直接把書本上經過證明的公式結果寫進程式中，利用程式的編譯過程，直接呈現更具體、實際的學習體驗，激發學生的興趣並促進深度學習，達成學習目標。

何謂 Arduino 開發板與 Arduino IDE 程式軟體？Arduino 是一家製作開源硬體和開源軟體的公司，他們把設計圖放到了網上，保持設計的開放源碼理念，「幾乎任何人，即使不懂電腦編程，也能用 Arduino 做出千變萬化的專案，比如對傳感器作出回應，閃爍燈光，還能控制馬達，可以讓你能夠擁有感應、控制真實世界的能力，而不僅局限於鍵盤、滑鼠、屏幕、揚聲器等單一的標準 I/O 設備。它同時也能作為獨立的核心，作為機器人、智能車、雷射槍等電子設備的控制器，應用非常簡單。在 Arduino 出現之前，傳統上要開發微控制器的程式，開發者需要具備電子機電相關科系的背景，一般人不容易進入，門檻非常高。Arduino 把控制晶片和燒錄功能整合在一塊小小的板子上，並且讓 Pin 腳更容易接線、配合麵包板，可以輕鬆的接上各類感測器模組或週邊設備，沒有理工背景的初學者只要會插杜邦線，就能開始進行開發工作，就算沒有任何相關背景的人也可以快速學習，設計出各種不同的互動裝置，很快學會使用 Arduino。

接下來，我們使用超音波距離感測器(如圖 3 所示)取代昂貴的雷達實習設備，因為二種感測器的運作原理方式是雷同的，與黑暗山洞裡蝙蝠測飛行時的測距原理一樣，裝置先發出探測波，經過時間 Δt 後收到回波(echo)，則前方障礙物與雷達模組的距離是

$d = \frac{v * \Delta t}{2}$	(1)
------------------------------	-----

- (1) 雷達感測器是使用無線電波的傳輸速度與光速相同「30 萬公里/秒」，例如：如果無線電波行進 1000 公尺則是需要約 3.33 微秒。但是無線電波必需要到達目標物體後再反射回來，所以在發射電波離開發射機到電波返回到接收機的時間，要乘上兩倍的時間，所以就是要花費 2×3.33 微秒=6.67 微秒的時間。
- (2) 超音波傳輸速度在空氣中約「340 公尺/秒」，例如：如果音波行進 1000 公尺則是需要約 2.94 秒，所以就是要花費 2×2.94 秒=5.88 秒的時間。

超音波感測器(Ultrasonic Sensor)主要作為距離偵測使用，在生活中非常常見，像汽車倒車雷達就是採用防水型的超音波感測器，原理為利用超聲波於空氣中的傳遞反射特性，來計算與障礙物的距離。超音波感測器是由超音波的發射器、接收器和控制電路所組成的，發射器會發出 40kHz 的聲波，由於這個聲波的頻率超過人類可聽見的 20kHz，因此被稱為超音波，接收器可以接收超音波，從硬體上面可以看到有兩個圓圓的東西，一個是用來發射(Transmitter)超音波，而另外一個則是接收(Receiver)反射的超音波。HC-SRO4 超音波組件可以感測的距離為 2 公分到 4 公尺，感應角度為 15 度。

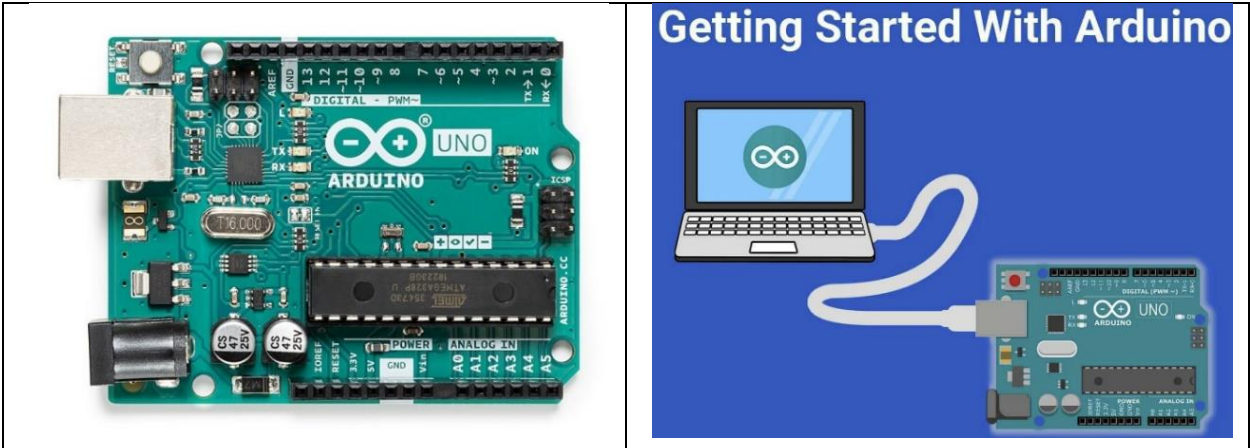


圖 2 Arduino Uno 開發板

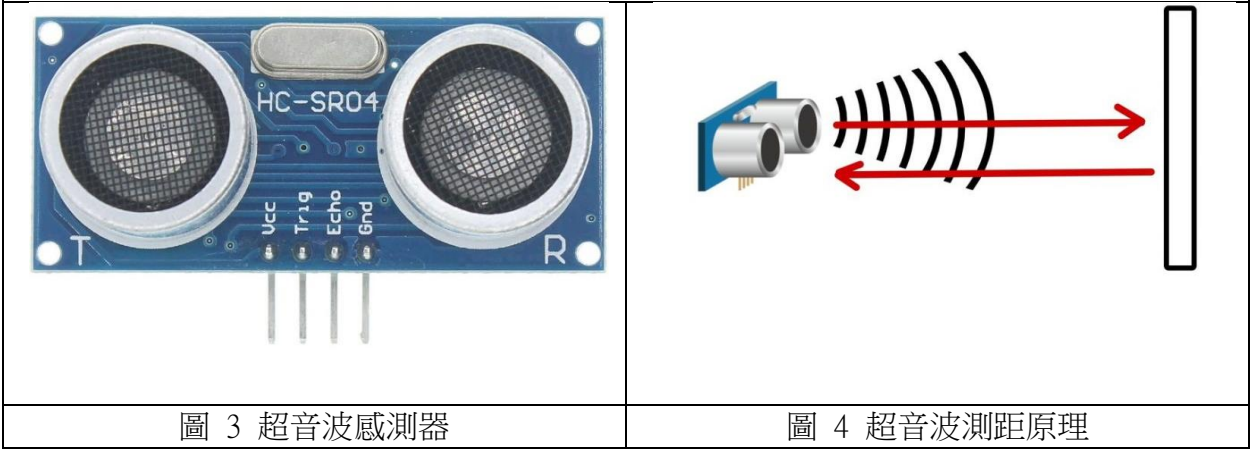


圖 3 超音波感測器

圖 4 超音波測距原理

1.3 研究架構

航電科「雷達原理與實習」課程配合在二年級上學期，教育學分時數分配每週授課 2 小時，計授課一學期 18 週，本研究預計會執行 3 個 Arduino 結合超音波感測器的專案實作，給予學生操作練習，在實作過程中強調反思和討論，讓學生分享他們的經驗、遇到的挑戰以及如何解決問題。本次研究主軸課程進度安排如下：

- (1) 課程進度第 1-3 週，教學目標是執行基礎雷達原理講解，介紹它們的組成、工作原理、工作頻率等，課程以雷達架構圖為核心(如圖 5 所示)，實施重點式的架構及概念講解，過程中只會帶過重點式的數學式說明，主要以使用實際結果的數學公式呈現。
- (2) 課程進度第 4-7 週，開始進入 Arduino 結合超音波感測器的實習課程，我們預劃以一個簡單的超音波測距離專案(電路圖，如圖 6 所示)，引導學生們進入實習課程，講解內容著重於 Arduino 的程式碼，著重於讓學生們學習基礎的超音波雷達測距概念，再隨著複雜度的提高學生們相對需要更精密更完善的思考。超音波感測器是利用聲波在空氣中的傳播原理來計算距離，聲波速度為 340 公尺/1 秒，所以每走 1 公尺所需時間為 0.002941 秒，走 1 cm 就是 0.00002941 秒(29.41us)，簡單來說，我們僅需要計算超音波的行走時間就需要可以知道物體與我們的距離，因為我們從感測器上得到的時間是為傳遞時間+反射時間的總值 $2T$ ，實際的距離時間就要將行走總時間除以 2，才可以得到正確的數值，所以得到物體距離數學式『距離 cm = $T/29.41us$ 』，接著就將這條數學式放入程式中進行運算就可以得到距離(實體呈現，如圖 7 所示)。
- (3) 課程進度第 8-12 週，將提供「超音波倒車雷達」及「超音波測速槍」專案讓學生自由的選擇，但是這二個專案的程式碼不會完全提供給學生，因為這個專案跟上述的專案很類似，我們主要提供內容為專案框架及程式核心，目的希望訓練學生提出自己的問題，將有助於激發創造性思維和主動學習。另外，鼓勵學生共享彼此的專案成果、程式碼、設計等，促進合作學習和互相啟發。
- (4) 課程進度第 13-18 週，進入課程的最後，我們將操作困難度較大的專案，挑戰教師及學生們的技術、解決問題和團隊協作能力。我們以實際雷達螢幕顯示為發想(如圖 9 所示)，利用 Arduino 超音波雷達執行物體掃描並模擬顯示，類似戰管部隊雷達螢幕顯示出飛機的所在位置，讓學生們瞭解部隊雷達屬性，以利銜接部隊裝備修護。



圖 5 簡易雷達架構方塊圖

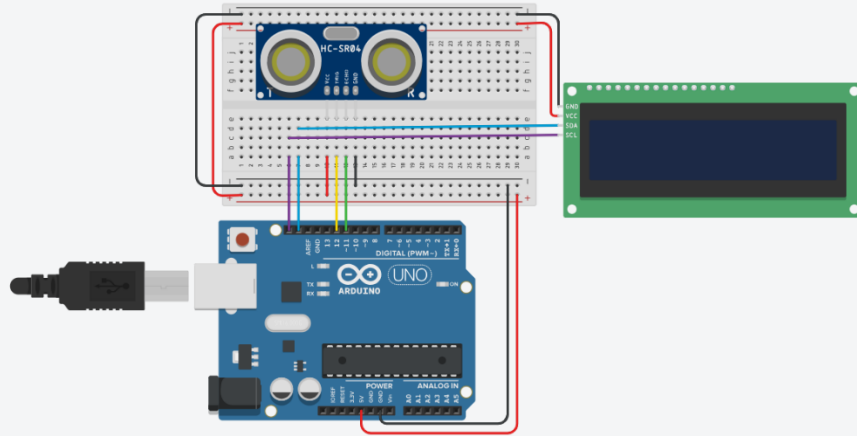


圖 6 超音波測距離電路示意圖

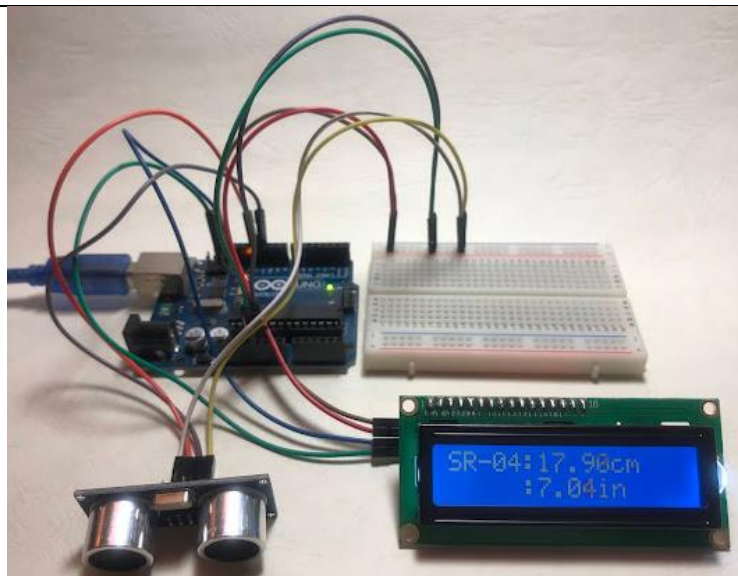


圖 7 超音波測距電路實體呈現

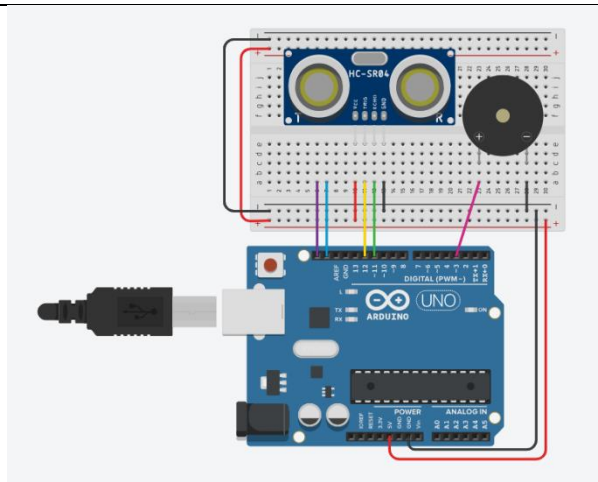


圖 8 超音波倒车雷达电路示意图

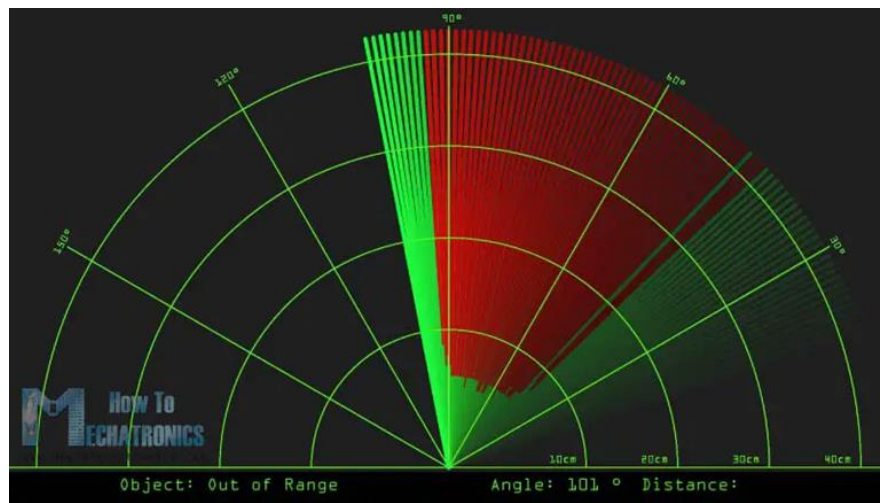


圖 9 超音波雷达萤幕显示

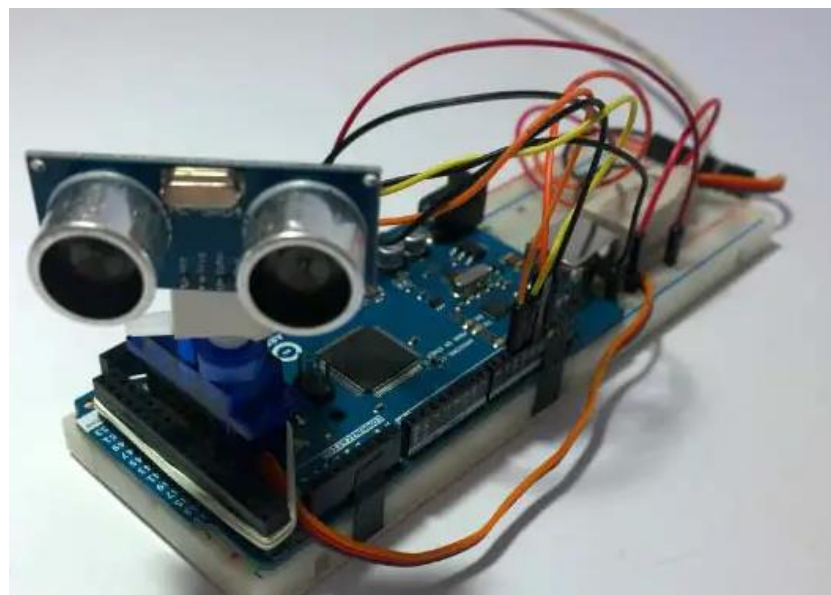


圖 10 超音波雷达扫描电路实体呈现

1.4 執行流程

- (1) 執行基礎雷達原理講解。
- (2) HC-SR04 超音波感測器工作原理介紹。
- (3) 簡易超音波測距離專案，學生動手實做。
- (4) 引入進階式超音波測距離專案(超音波倒車雷達及超音波測速槍)，讓學生在解決問題的過程中培養創新思維。
- (5) 操作困難度大的模擬實際雷達螢幕顯示，挑戰教師及學生們的技術整合、解決問題和團隊協作能力。

1.5 預期效益與對軍事教育改革潛力

(1) 預期完成之工作項目

- A.學生能夠理解雷達系統的基本原理。
- B.學生能夠將雷達知識與其他相關學科整合。
- C.結合 Arduino 及超音波感測器完成測距儀顯示實作。
- D.結合 Arduino 及超音波感測器完成倒車雷達警示及測速槍實作。
- E.結合 Arduino 及超音波感測器完成模擬實際雷達螢幕顯示。
- F.完整研究計畫成果報告之撰寫與印製。
- G.完成研討會與期刊論文之發表。

(2) 預期效益與對軍事教育改革潛力

「為用而育、計畫培養」之人才培育是軍校設立宗旨，學生的來源現多元化，反映了社會的多樣性和教育體系的開放性，但是，不同背景和經歷的學生進入軍校，學生們在學術能力上存在很大的差異，例如：相關專長與非相關專長的學生、軍職生與一般生，都同時給學校及授課教師帶來非常大的挑戰。

透過實作科目的操作練習，以「做中學」和「學中做」的教學方式，培養學生的學習興趣及動機，學生能夠運用所學理論和實務技能，解決在實作過程中出現的實際問題，透過實作及分組，學生能夠加強在小組內的合作能力，共同解決複雜問題，打破僵化的思考模式，展現多元的創造力。最後，培養學生具有條理的分析、理性的思考及團隊合作等能力，讓學生至部隊適任其職務之工作，具備領導本職學能，成為允文允武、術德兼備之國軍人才。

2. 文獻探討

2.1 雷達系統

雷達(Radar)是” RAdio Detection And Ranging” 縮寫的音譯。雷達其基本的功能是利用目標物對電磁波的散射或回射波而發現目標，並且測定出目標物的空間位置或其他所要的訊息，將這些所得的訊息經過一連串的訊號處理，並轉換成我們可以簡單明瞭的顯示。雷達在應用時都不外乎是在以下三個範疇之內：

1. 偵測在遠方某一物體的存在，不論該物體是在移動或靜止中，例如：飛機，當然，雷達也可以偵測出，埋在地下中某一深度的物體來，有些情況甚至可以分辨出該物體是何物種，例如：航空母艦上的雷達可以辨別出那一個型號的飛機來。
2. 測量該遠方物體的移動速度，例如：警察用以偵查車速用的雷達。
3. 測量某物體的三維立體形狀，例如穿梭機及人造衛星上所應用的一種叫「綜合窄孔雷達 Synthetic Aperture Radar」就可以用來詳細描繪一個星球的表面的立體地形圖。

2.1.1 雷達系統基本原理

雷達為目前偵測移動物體最普遍的方法之一，雷達係以無線電波偵測使用最為廣泛，現代的雷達具備高精確度能有效探測距離和追蹤移動物體。雷達的運作是利用無線電波在微波頻率範圍之內的傳送，然後測量從移動物體反彈而切換成頻率的反射波。雷達藉著高頻電路產生出高功率電磁波，此電磁波經由天線輻射出去形成雷達波。當發射出去的雷達波在空間行進的過程中，隨著觸碰到物體部分的散射及反射，電磁波經由雷達的接收天線回到接收端，稱之為回波；回波再經過濾波、放大等，混波…程序處理，與發射波相對應比較，得以偵測出目標是否存在，進而可以決定其距離、方向、高度、速度…和其他資訊，並藉顯示器加以顯示出來，此即為雷達之基本原理。

2.1.2 雷達的分類

依照發射波形分類，雷達系統一般分成有「脈衝波雷達(Pulsed Radar)」及「連續波雷達(Continuous-wave Radar)」，而連續波雷達再分成「頻率調變連續波雷達(FMCW Radar)」與「都普勒雷達(Doppler Radar)」。

1. 脈衝波雷達(Pulsed Radar)：此一型雷達是以脈衝波調變方式發射連續的方形脈衝波，以偵測目標，其中方型脈衝波之間稱為脈衝波寬度(Pulse Width)，亦即雷達發射電磁波之持續時間，脈衝波波幅大小則表示雷達發射之峰值功率(Peak Power)，一個脈衝波結束到下一脈波間稱為脈衝波重複週期(Pulse Repetition Time)，每秒單位時間內所產生的脈衝

波數量，則稱之為脈衝波重複頻率(Pulse Repetition Frequency)。例如無線電波在空氣中行進的速度大約為 300 公尺/微秒，如果無線電波行進 1000 公尺則計算需要約 3.33 微秒。但是無線電波必需要到達目標物體後再反射回來，所以在發射電磁波離開發射機到電磁波返回到接收機的時間就要乘上兩倍的時間，所以就是要花費 2×3.33 微秒 = 6.66 微秒的時間。

2. 連續波雷達(Continuous-wave Radar)：除了脈波雷達外，最早被廣泛應用的雷達就是連續波雷達，也稱等幅波雷達。二次大戰期間使用的預警雷達，大多屬於這種連續波雷達系統。連續波雷達有兩個不同的雷達天線分別負責發射和接收，早期的連續波雷達是由雷達回波的有無來判斷偵測範圍內是否有物體，並得到其方位，這類的雷達經常用於交警的測速、汽車防撞、…但無法獲知目標物的距離。二次大戰之後連續波雷達發展出下面兩種雷達：

- (1) 都普勒雷達(Doppler Radar)：是應用都普勒效應(Doppler Effect)的原理來測量出目標物與雷達之間的相對運動，藉以算出目標物的速度。都普勒效應的主要理論為「當一個輻射源或傳送端正在發射一個固定頻率的電磁波時，若傳送端與接收端有相對運動，則接收端所接收到的電磁波頻率會與傳送端所發射的頻率不同，產生頻率漂移(Frequency Shift)，其頻率漂移與相對速度的徑向速度成正比」。當接收端接收到物體反射的雷達回波時，若物體是遠離雷達的狀況下，所收到的回波頻率會減少，反之收到的頻率會增加。這個事實可以作為一個重要的應用，因為如果我們能找出目標的速度如何改變反射波的頻率，這樣我們就可以以頻率的改變數值算出目標與雷達的相對速度。例如發射的頻率為 f_0 ，因為都普勒效應而改變的頻率為 f_1 ，兩頻率差為 f_d 就是上面提到的頻率漂移 (Frequency Shift)。則 $f_d = \frac{2v}{c} f_0$ ， v 為目標物速度， c 為電磁波的速度。

- (2) 頻率調變連續波雷達：由於連續波雷達只是發射一個固定頻率的電磁波，所以僅能得知物體的存在與否，並無法得知其距離，而此型 FMCW 雷達就是用頻率調變的方式，發射出一組頻率隨著時間而改變的電磁波，再運用雷達波與雷達回波的頻率差，算出物體的距離。利用電磁波碰到物體表面會反射的特性，我們可以得到欲偵測物體的三項資訊：

- A. 距離：FMCW 雷達則是用固定速率改變發射波頻率，再比較發射與回波的頻率差值，藉以得到電磁波由發射機到目標物，經過反射返回的時間。
- B. 目標的相對速度：運用都普勒效應。若雷達與目標在波的行進方向有相對速度，則觀測到的頻率會隨著相對速度的大小產生頻率漂移。

- C. 方位：我們可利用多個雷達偵測單元(Radar Detection Unit，RDU)，不同雷達偵測單元對同一個物體所計算得到的距離均會不相同，所以可從中間得出目標物的方位。

2.1.3 影響雷達效能因素之討論

影響雷達系統的效能有很多，部份是依靠設計者在當初的設計，例如發射機的功率大小，接收機的靈敏度以及所需要使用天線的形式效能…等等。另一部份則是依賴工作的環境，雷達應用應該盡可能的遠離易產生干擾來源的環境或是 雷達應該要有基礎的防干擾機制。再另一點就是設計者與使用者無法控制的元素，比如天氣狀況、太陽宇宙射線的干擾…等等。接下來舉一些比較常見會影響雷達效能的因素討論之。

1. 發射機功率大小：直覺的來說，發射功率愈高，則雷達測距離的能力也 一定是愈高愈遠。我們在設計一套雷達時就要考慮到它的應用的方向來決定它所需的功率大小會是多少，這也會影響到我們要使用的元件，要較高的功率所選的 元件就必須更加小心，元件、電源容量、效率等等問題…這些都是有相關發射機 品質穩定的一個部份。
2. 天線增益、波束形狀：雷達天線將電磁波能量集中在一個特定方向的能力。當雷達傳送出去的主波束愈寬，即表示雷達天線將電磁波能量集中的能力愈差，天線的增益越大，則表示雷達的作用距離越遠。天線的波束形狀，一般用水平和垂直面內的波束寬度來表示。米波級雷達的波束寬度在 10 度左右，而釐米波雷達的波束寬度在幾度左右。
3. 接收機靈敏度：雷達接收機的靈敏度是指雷達接收微弱信號的能力。雷達在背景雜訊電位一定時仍然可接收到最小的反射信號強度，換句話說，就是能感測到的輸入功率的大小，通常規定在保證能發現目標物體 60%~90%的條件下。雷達接收機能處理的信號愈微弱，雷達的偵測能力就愈佳。如自目標反射回來的 號低於此信號強度，雷達接收機就無法察覺而偵測不到此目標。
4. 外來雜訊與接受機本身產生的雜訊：在系統中，雷達的回波訊號，可能是非常非常的微弱，也許就在幾個微伏左右。但是我們所設計的接收機必需要能將其訊號放大，以到達我們能夠給後端電路使用的程度。在這樣的情況之下，雜訊也會同時的被放大(從天線收下來的不會只有訊號，也會有雜訊一起被收下來)，但是就在雜訊太強大時，回波的訊號就會被雜訊給遮住了。這種外在的雜訊很不容易的找出並解決它。只能找出其它可知道的雜訊，並盡可能的去除已知的雜訊源。但是除了外來的雜訊之外，本身接收機的雜訊也是很大的一個來源，特別是我們用到的頻段這麼的高，其實外來的雜訊應該可以是滿低的可能性，而這些本身的內部雜訊，實際上主導了整個可以偵測到最低回波信號強度的關鍵。

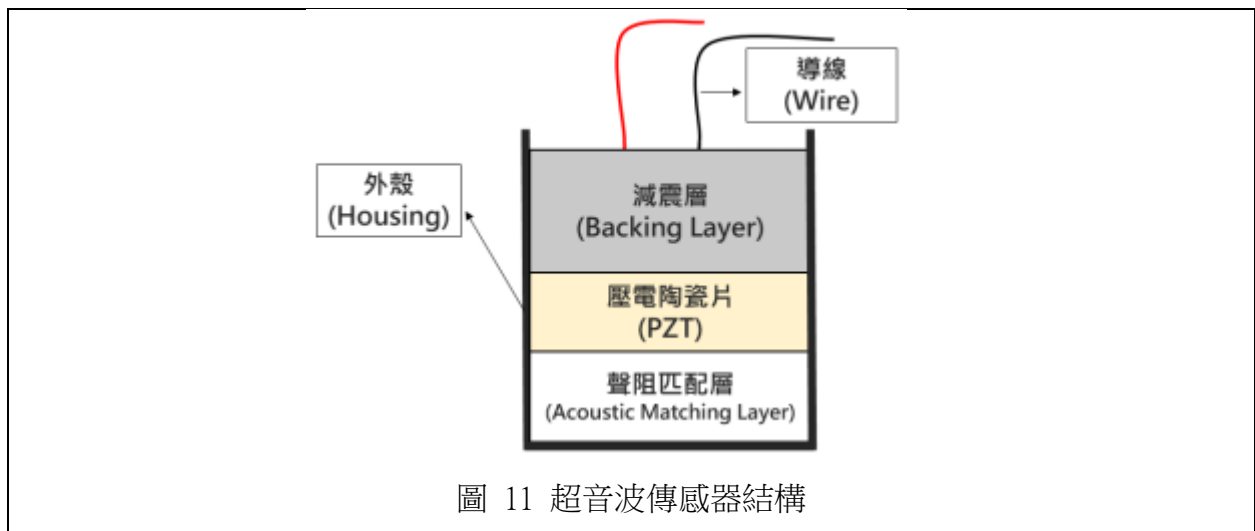
5. 雷達反射截面積：雷達是使用高頻率的電磁波，在電磁波行進的過程中，任何物體都會使這電磁波反射、散射…但是電磁波的反射量大小跟這個物體的大小、外型、本身材質、表面塗料、…等有關，一般而言，金屬是電磁波最好的反射物體。如果都是金屬的話，大物體反射的電磁波會比小的物體反射的電磁波要多。靠近雷達的物體比遠離雷達所反射的電磁波較多，假如大小相同距離也都相同的物體時，面對雷達面平坦的，其反射的電磁波會比表面不規則的多

2.2 超音波雷達感測器

超音波一詞係指高於人耳所能聽見(20 kHz)的音訊頻率範圍，超音波感測器是使用這些頻率的元件，用於存在偵測和／或計算遠端物件的距離。超音波感測器由於價格不高、適用性佳，並且可用於多種應用，因此長期且持續地受到廣泛使用。這些元件適用性高，因此近期也運用於較新的技術中，如自駕車、工業無人機、機器人設備等。超音波傳感器可用於水中聲納(sonar)及空氣中短距離的物件偵測(proximity measurement)。藉由超音波傳感器發射出之超音波傳遞到物體表面，再接收自物體表面反射的超音波，並利用超音波的飛行時間(Time of Flight, ToF)進行計算，即可得知超音波傳感器與待偵測物體之間的距離。或者，利用超音波於單張薄片及多張薄片的穿透能量的差異，可以進行雙張偵測，藉以判斷是否產生疊片。對於超音波偵測而言，待偵測物體的類型與性質並不會受到形狀、材質、顏色、透明度、硬度等影響，且不論固體、液體、或粉體等，都可以用超音波傳感器來進行偵測。故此，現今超音波傳感器已廣泛應用在水中聲納(sonar)、倒車雷達(parking sensor)、位高偵測(level sensor)、雙張薄片偵測(double feed detection)及流量偵測(flow meter)等範疇。

2.2.1 系統架構

超音波傳感器是由壓電陶瓷、聲阻匹配層及減震層所構成(如圖 11 所示)。壓電陶瓷片(piezoceramics)的主要成分為鉛鈦酸鉛(Lead Zirconate Titanate, PZT)，在其雙面會塗導電層，在運作中對壓電陶瓷的導電層施加高頻交流電即可藉由逆壓電效應(電能轉換機械能)讓壓電陶瓷產生高頻率振動，該高頻率震動是一種聲波，如果此聲波的頻率落在超音波範圍(≥ 20 kHz)，即為超音波振動。相對的，利用壓電陶瓷的正壓電效應(機械能轉換電能)即可接收超音波。



2.2.2 設計原理

超音波傳感器的基本運作方式類似於蝙蝠在飛行中利用回聲定位找尋昆蟲。發射器會發射高頻聲波的短突波，稱為「啁啾」，涵蓋 23 kHz 至 40 kHz 的頻率。當此聲音脈衝撞擊物體，部分聲波會反射回到接收器。

超音波傳感器依功能可分為發射傳感器 (transmitter)、接收傳感器 (receiver)、以及收發一體的傳感器 (transceiver)，如圖 2 所示。將超音波傳感器的共振頻率 (resonant frequency, f_r) 設計在接近所施加電訊號的頻率 (operating frequency)，以 40 kHz 為例，如圖 3 所示，可以讓超音波的發射效率最佳化。反之，將超音波傳感器的反共振頻率 (anti-resonant frequency, f_a) 設計在接近所接收的超音波頻率，如圖 4 所示，則可以讓超音波的接收效率最佳化；收發一體的超音波傳感器 (transceiver) 則是將所施加電訊號的頻率 (operating frequency) 設計介於超音波傳感器的共振頻率 (f_r) 與反共振頻率 (f_a) 之間，如圖 5 所示。傳感器的操作頻率越高，解析度越好，相對的高頻聲波傳遞時的衰減也越大，所以感測的距離就越小。

距離量測之超音波感測器乃是利用超音波感測器之發射器發出超音波至接收器收到由目標物體反射之回映所需的時間 (t) 來獲得被測物與測量源之間的距離。其關係式如 2.1 式：

距離 = 音速 (C) * 飛行時間 ($t/2$)	2.1
------------------------------	-----

在一大氣壓、操作溫度為 25 °C 時音波在空氣中之波速為 346m/s，然而音速會隨溫度而變，其關係為：

$$\text{音速} C = 331.31 \sqrt{1 + \frac{T}{273.15}}$$

T：操作溫度（℃），C：波速（m/s）

2.2

對於距離測定之超音波感測器而言，在測距（以時間差為基準）時，測量頻率要儘量提高（為了準確測定回波），才能得到較高的距離解析度。但也由於需要發射和接收切換電路控制，因此不能量測近距離。超音波在發射之後，從目標物體反射回來的超音波強度和光的場合一樣，與目標物體的距離以及目標物體的反射率有依存性，不過，反射時間是固定的，不受目標物體反射率的影響，只要反射波被檢出，就可以在某種程度以上的精度之下測出對象物體的距離。這是超音波感測器的最大特徵。

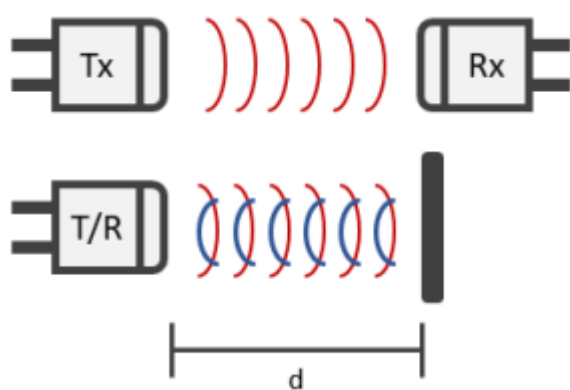


圖 12 傳感器應用示意圖

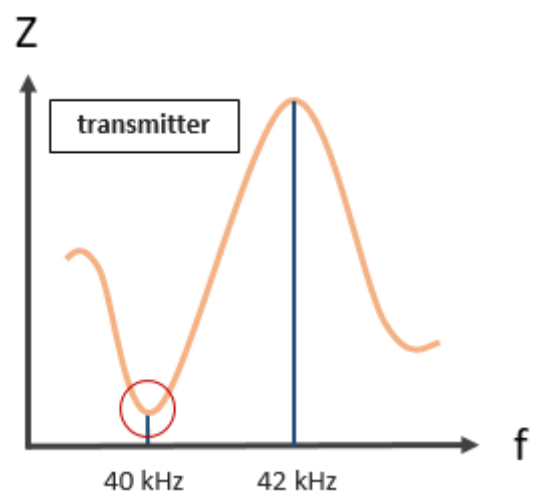


圖 13 發射傳感器設計示意圖

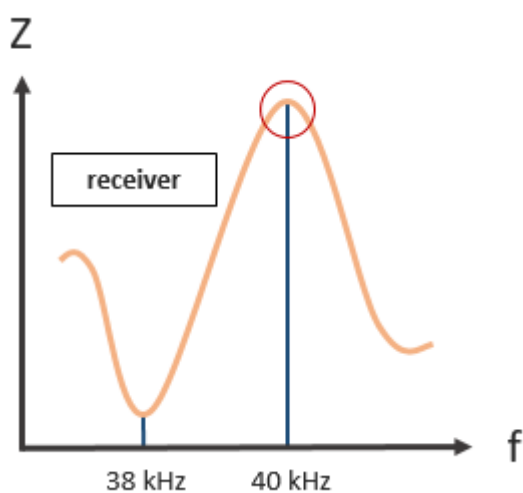


圖 14 接收傳感器設計示意圖

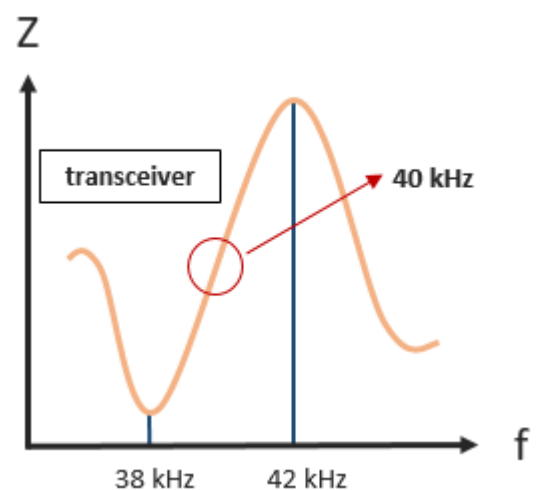


圖 15 收發一體傳感器設計示意圖

然而，為了讓所產生的超音波能從壓電陶瓷傳送到物體或是流體中（例如：空氣中或是水中），壓電陶瓷的聲阻（acoustic impedance）必須與物體或是流體的聲阻匹配才行。常見物質的聲速及聲阻特性如下：

表 1 常見物質的音速及聲阻特性

物質	密度 (ρ) Kg/M ³	音速 (C) m/sec	聲阻 (Z) 10 ⁶ Kg/M ² ·sec
壓電陶瓷	7800	4500	35.10
水	1000	1480	1.48
空氣	1.22	340	0.000414
玻璃	2200	5500	12.10
環氧樹脂	1200	1600	3.12
矽膠	1250	1040	1.30
聚氨酯	130	2000	2.60
不鏽鋼	7800	5900	46.02
鋁	2730	6380	17.41

現在以超音波空氣傳感器為例子來說明，聲阻 (Z) = 材料密度 (ρ) * 音速 (C)，壓電陶瓷的聲阻約為 35 MRayl (10⁶ 公斤/平方公尺·秒)，空氣的聲阻約為 414 Rayl (公斤/平方公尺·秒)，壓電陶瓷的聲阻與空氣的聲阻，有非常大的差距，導致壓電陶瓷所產生的超音波能量無法傳遞到空氣中，故此，聲阻匹配層 (acoustic matching layer) 就成了超音波傳感器中必要的部件，其會設置在壓電陶瓷與空氣之間，使得兩者的聲阻得以匹配，從而可以有效地將超音波傳遞到空氣中。用於空氣傳感器 (ultrasonic air transducer) 的匹配層的聲阻，最理想值為 Rayl，約為 0.122 MRayl，但是自然界中很難找到聲阻低於 1 MRayl 而且又耐用的材料。目前一般業界常用的聲阻匹配層材料為高分子樹脂與空心粉體混合成的複

合材料，來達到較低的聲阻特性，同時也具有較佳的耐候性及可靠度。超音波傳感器依使用情境可分成發射-接收的組合（pitch-catch mode）或是單獨使用收發一體的超音波傳感器（pitch-echo mode）。須注意的是超音波傳感器具有殘響（ringing）的特性，當使用超音波傳感器來做為近距離的物體偵測時，殘響限制了最小的偵測距離。一般使用減震層（backing layer）來讓超音波傳感器快速恢復其靜止狀態以降低其殘響。

2.2.3 超音波感測器的種類與運作原理

超音波感測器的分類方式相當多種類，可依據其檢測模式分成收發一體型、收發分體型、雙穩態型、都普勒型等種類的感測器，其具結構來分類也可分成防水型、高頻型、開放型，依材料來分類也可分成壓電式、磁致伸縮式，依據使用環境可分成氣體中與液體中的超音波感測器：

1. 一體型超音波感測器：一體型超音波感測器（Transceiver）是一種既可以發射超音波，又可以接收反射回來的超音波的感測器。這種感測器通常設計緊湊，適合在需要測量距離或檢測物體的應用中使用。一體型超音波感測器中的發射單元將電訊號轉換為高頻超音波（通常在 20kHz 以上），並向外發射。超音波在空氣中以一定的速度（約 340 公尺/秒）傳播，遇到物體後會反射回來。感測器中的接收單元捕捉到反射回來的超音波，並將其轉換回電訊號。根據超音波從發射到接收到的時間差，可以計算出物體與感測器之間的距離，這種方法被稱為「飛時測距」（Time of Flight, TOF），透過距離計算公式可以精確計算出物體的距離。
2. 分體型超音波感測器：分體型超音波感測器（Separate Emitter and Receiver）是一種發射和接收單元分開的感測器，其運作原理與一體型相似，一體型超音波感測器的發射和接收單元整合在同個零組件中，結構緊湊，安裝方便。分體型超音波感測器的發射單元和接收單元分開，通常需要分別安裝，但可以實現更大的測量範圍和更高的靈敏度。發射和接收單元的分離設計可以減少干擾，提高測量性能，雖然成本相對較高，但可提供更高的性能和更大的應用範圍。一體型超音波感測器適合短距離和緊湊安裝的應用，而分體型超音波感測器則適合需要更大測量範圍和更高靈敏度的遠距離應用。
3. 雙穩態超音波感測器：雙穩態超音波感測器（Bistatic Ultrasonic Sensor）是一種發射和接收單元位於不同位置但相對於被測物體處於固定角度的感測器。這種感測器通常用於需要高精度和大範圍測量的應用。雙穩態超音波感測器的運作原理與分體型超音波感測器類似，其發射和接收單元的距離和角度需要精確調整，以確保最佳測量效果。雙穩態超音波感測器的成本通常較高，但提供更高的性能和精度。
4. 都普勒超音波感測器：都普勒超音波感測器（Doppler Ultrasonic Sensor）利用都普勒效應

來測量物體的速度和運動。都普勒效應描述的是當波源和觀察者之間存在相對運動時，波的頻率會發生改變的現象。都普勒超音波感測器的發射器會發射一束超音波，通常頻率範圍在 20 kHz 到 10 MHz 之間。當超音波遇到移動物體時，會反射回來。根據都普勒效應，反射波的頻率會根據物體的運動方向和速度發生變化，如果物體向感測器靠近，反射波的頻率會增加（頻率升高）。如果物體遠離感測器，反射波的頻率會減少（頻率降低）。接收器接收到反射波，並將其轉換成電訊號。感測器會分析接收到的訊號，計算反射波頻率的變化。根據反射波的頻率變化量（都普勒頻移），可以計算出物體的運動速度。

5. 防水型超音波感測器：防水型超音波感測器設計用於在潮濕或水下環境中運行，能夠抵抗水分和液體的侵蝕。這些感測器常見於工業、汽車、海洋和消費性電子領域。防水型超音波感測器的運作原理跟傳統的超音波感測器相似，但發射器、接受器和壓電晶體等都被密封在內部，以防止水分和其他液體的侵蝕。防水型超音波感測器通常有一個密封外殼，這個外殼可以是塑膠、金屬或其他耐用材料。防水型超音波感測器能夠在潮濕和水下環境中可靠的運行，並可提供精確的距離和位置測量，且適用於多種環境和應用場景。不過，相比普通超音波感測器，防水型超音波感測器的成本較高，在水中進行測量時，超音波的傳播速度和衰減特性不同於空氣，可能影響測量範圍和精度。
6. 高頻型超音波感測器：高頻型超音波感測器利用高頻超音波（通常頻率範圍在 1 MHz 到 10 MHz 之間）來實現更高精度和解析度的測量。高頻型超音波感測器的發射單元會產生高頻超音波脈衝，這些脈衝能夠在介質中傳播。發射單元通常由壓電晶體構成，這些晶體在電壓作用下產生機械振動，發射超音波。高頻超音波具有更短的波長，因此能夠提供更高的空間解析度，能夠提供精確的測量和成像，且高頻超音波的衰減較快，測量距離通常較短，因此適用於短距離、高精度的測量應用。高頻超音波感測器和相關裝置的成本較高，適用於高價值和高精度的應用。
7. 開放型超音波感測器：開放型超音波感測器是一種設計為不需要封閉在防護外殼中的超音波感測器，通常暴露在環境中，這種設計可以減少超音波傳播的損失，提高測量精度，以實現更高的靈敏度和更快的響應，用於需要高靈敏度和快速響應的應用，這些感測器常見於近距離檢測和非接觸式測量。由於沒有防護外殼，開放型超音波感測器可以提供更高的靈敏度，其設計簡單，能夠快速響應環境中的變化。相對於封閉型感測器，開放型感測器的製造成本較低。不過，由於沒有防護外殼，開放型超音波感測器容易受到灰塵、濕氣和其他環境因素的影響。暴露在環境中的元件可能會受到更多的磨損和損害，導致使用壽命縮短。
8. 壓電式超音波感測器：壓電式超音波感測器（Piezoelectric Ultrasonic Sensor）利用壓電材

料的壓電效應來產生和接收超音波。這些感測器因其高靈敏度和可靠性，廣泛應用於各種工業、醫療和消費性電子領域。壓電式超音波感測器應用壓電效應，壓電材料（如壓電陶瓷、壓電晶體）在受到機械壓力時會產生電荷，這稱為正壓電效應。當施加電場時，壓電材料會產生機械變形，這稱為逆壓電效應。發射單元由壓電材料構成，當施加電壓時，材料會產生振動，發射超音波。超音波頻率取決於壓電材料的共振頻率，通常在 20 kHz 至 10 MHz 之間。接收單元也由壓電材料構成，當接收到反射的超音波時，材料會因振動產生電荷。由於壓電材料具有高靈敏度，能夠精確地檢測微小的超音波訊號，由於壓電材料相當耐用，因此具有長壽命和高可靠性，且能夠快速響應並提供即時測量數據。不過，壓電材料對溫度和應力變化較為敏感，可能會影響測量精度，高性能的壓電材料和相關電子電路可能會增加成本。

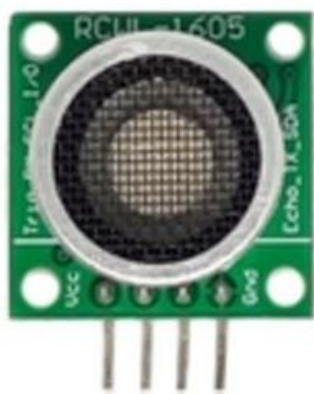


圖 16 一體型超音波感測器



圖 17 分體型超音波感測器



圖 18 高頻型超音波感測器



圖 19 開放型超音波感測器

9. 磁致伸縮式超音波感測器：磁致伸縮式超音波感測器（Magnetostrictive Ultrasonic Sensors）利用磁致伸縮效應來產生和接收超音波。這些感測器在工業檢測、醫療成像以及其他高要求的應用中發揮重要作用。磁致伸縮式超音波感測器應用磁致伸縮效應，指的是某些

材料在外部磁場作用下會產生尺寸變化的現象。這些材料被稱為磁致伸縮材料，例如某些合金和鐵磁材料。磁致伸縮材料被放置在感測器內部，當施加電流或磁場時，這些材料會根據磁場變化產生微小的尺寸變化（伸縮），這些變化會產生機械振動，從而產生超音波脈衝。接收單元會捕捉反射回來的超音波，磁致伸縮材料再次受到機械振動，這些振動會在材料內部產生電壓變化，轉換為電訊號。磁致伸縮材料對磁場變化非常靈敏，能夠產生和接收高精度的超音波訊號，其對溫度變化和機械應力的敏感度較低，提供穩定的性能，適用於需要高頻超音波的應用，提供更高的解析度和精度。不過，磁致伸縮材料和相關裝置的成本可能較高，且需要穩定的磁場源來實現正常工作，對環境中磁場的變化敏感。

10. 氣體中的超音波感測器：氣體中的超音波感測器的運作原理和應用領域，與液體或固體中的超音波感測器有所不同。超音波感測器發射器產生超音波脈衝，這些脈衝在氣體中傳播，這是最常見的超音波感測器類型。氣體中的聲速取決於氣體的密度、溫度和壓力等因素。由於氣體的密度和聲速會隨溫度和壓力變化，因此感測器通常會包括溫度和壓力補償功能，以提高測量的準確性。有些感測器會使用內部的氣體感測器來即時監測環境條件，並根據這些條件調整超音波訊號的處理。氣體中的超音波感測器可以非接觸地測量氣體中的物體，適合測量高溫或危險環境中的氣體，並能夠提供即時的測量數據，便於即時反應和調整，並可用於多種氣體環境，包括不同密度、溫度和壓力的氣體。不過，測量結果會受氣體密度、溫度和壓力變化影響，需要進行補償和校準。在低密度氣體中，超音波訊號可能會衰減較快，影響測量範圍和精度。
11. 液體中的超音波感測器：液體中的超音波感測器利用超音波技術測量液體的各種參數，例如液位、流量和濃度。超音波感測器的發射器產生超音波脈衝，這些脈衝在液體中傳播。液體的密度和超音波的傳播速度影響訊號的傳遞，當超音波訊號遇到液體中的界面（如液位、氣泡、固體顆粒）或液體與容器內壁的交界面時，會產生反射訊號。液體的溫度和密度會影響超音波的傳播速度，因此感測器通常會包括溫度補償功能，並根據實際環境條件調整超音波訊號的處理。感測器設計可能會考慮液體中氣泡和固體顆粒對訊號的影響，選擇適合的頻率和設計來提高測量準確性。液體中的超音波感測器可以非接觸地測量液體的液位和流量，適合高溫、高壓和腐蝕性環境，可提供即時的液位和流量數據，便於即時調整和控制，並能夠提供高精度的測量結果，適合需要精確控制和監測的應用。不過，當液體中存在氣泡和固體顆粒時，超音波訊號可能會受到干擾，影響測量準確性，液體的溫度和密度變化會影響超音波的傳播速度，需要進行補償處理。

表 2 超音波感測器類型及應用特性

類型	應用特性
一體型超音波感測器	一體型超音波感測器因其結構簡單、應用靈活且測量精度高，成為許多領域中不可或缺的感測工具。
分體型超音波感測器	分體型超音波感測器因其發射和接收單元分離，可以實現更大的測量範圍和更高的靈敏度，特別適用於需要精確測量和遠距離檢測的應用場景。
雙穩態超音波感測器	雙穩態超音波感測器因其高精度和大範圍測量能力，適用於各種需要精確位置和距離測量的應用。其發射和接收單元的分離設計，可以減少干擾，提高測量的準確性和穩定性。
都普勒超音波感測器	都普勒超音波感測器利用都普勒效應進行高精度的速度和運動測量，適用於交通監控、醫療應用、工業自動化、安全監控系統等多個領域。其非接觸式測量特性和即時數據響應使其在各種應用中具有廣泛的適用性和重要性。
防水型超音波感測器	防水型超音波感測器因其優越的防水性能和高精度測量能力，適用於汽車、海洋、水下應用、工業自動化和農業等多個領域。其設計使其能夠在各種嚴苛環境中可靠運行，提供準確的數據和穩定的性能。
高頻型超音波感測器	高頻型超音波感測器利用高頻超音波的特性實現高精度和高解析度的測量，廣泛應用於醫療、工業無損檢測、半導體製造、高精度液位測量等領域。其非接觸式測量特性和即時數據響應使其在各種高精度應用中具有重要地位。
開放型超音波感測器	開放型超音波感測器利用高頻超音波進行距離和位置測量，其高靈敏度和快速響應使其在工業自動化、液位檢測、安全監控、醫療應用和消費性電子領域中具有重要應用。雖然容易受到環境因素的影響，但其簡單的設計和較低的成本，使其在許多應用中仍然非常受歡迎。
壓電式超音波感測器	壓電式超音波感測器利用壓電材料的壓電效應實現高靈敏度和高可靠性的超音波產生和接收，廣泛應用於工業自動化、醫療應用、汽車、消費性電子和環境監測等領域。其優越的性能使其在各種需要高精度和快速響應的應用中具有重要地位。
磁致伸縮式超音波感測器	磁致伸縮式超音波感測器利用磁致伸縮效應來實現超音波的產生和接收，具有高靈敏度和穩定性。它們廣泛應用於工業檢測、醫療成像、液位測量、航太和智慧製造等領域。其高精度和穩定性能使其在各種高要求的應用中發揮重要作用。
氣體中的超音波感測器	氣體中的超音波感測器透過測量超音波在氣體中的傳播特性來進行距離測量、流量測量和濃度檢測等。它們在工業、環境監測、

	氣體安全檢測和環境控制等領域具有重要應用價值。了解其工作原理和特性，有助於選擇和部署適合的感測器，實現精確和可靠的氣體測量。
液體中的超音波感測器	液體中的超音波感測器利用超音波技術進行液位、流量和濃度的測量。它們在工業儲罐、管道系統、化學製程、水處理等多個領域中發揮重要作用。透過了解其運作原理和適用領域，選擇合適的感測器可以實現高效率、準確的液體測量和控制，提升系統性能和營運效率。

2.3 Arduino 基本介紹

維基百科 Wik 是這樣介紹 Arduino 的：「幾乎任何人，即使不懂電腦編程，也能用 Arduino 做出千變萬化的專案，比如對傳感器作出回應，閃爍燈光，還能控制馬達。Arduino 可以能夠擁有感應、控制真實世界的能力，而不僅局限於鍵盤、滑鼠、屏幕、揚聲器等單一的標準 I/O 設備。它同時也能作為獨立的核心，作為機器人、智能車、雷射槍等電子設備的控制器，應用非常簡單。

2.3.1 什麼是 Arduino？

Arduino 是一款開放原始碼的平台，它包括硬體和軟體，可以用於建立各種互動式物體和環境。Arduino 硬體是搭載微控制器的單晶片電腦，可透過板端的 GPIO(General-purpose input/output)接口來接收各種感應器(如光、聲、溫度等)的訊號，並根據訊號來處理和控制。除此之外，Arduino 在軟體部分提供了一個程式編寫環境，可以使用類似 C 語言的簡單程式碼，輕鬆編寫控制單晶片的程式，並可應用於許多領域，如機器人、物聯網、自動化控制等等。

Arduino 的歷史可以追溯到 2003 年，當時義大利的設計工作室「Interaction Design Institute Ivrea」開始使用單片機控制各種互動裝置[1]。由於市場上缺乏容易使用和價格實惠的單片機平台，因此這個工作室開發一款新的硬體平台，這就是 Arduino 的前身。最初的 Arduino 硬體設計是由 Massimo Banzi、David Cuartielles、Tom Igoe、Gianluca Martino 和 David Mellis 等人共同創造[2]。他們的目標是創建一個容易上手的平台，任何人都可以用它來開發自己的專案，而不需要深入了解電子學或程式設計。到了 2005 年，第一個 Arduino 原型機問世。由於 Arduino 的開放原始碼和簡單易用的特點，它很快就受到了全球創客和電子愛好者的關注。Arduino 的社群成員也不斷發佈新的程式庫和項目，這些資源讓使用者更加方便地開發和分享自己的專案。隨著物聯網和智能家居等應用不斷增加，Arduino 將會扮演重要角色，為人們帶來更多的創新。

2.3.2 Arduino 的硬體環境

Arduino 的硬體結構主要由三部分組成：微控制器、外部電路和擴展連接器。

1. 微控制器：Arduino 的核心通常是 Atmel AVR 系列的單片機。這個微控制器是 Arduino 硬體的中央處理器，負責讀取和處理各種訊號，並執行使用者編寫的程式碼。
2. 外部電路：Arduino 的外部電路用於連接各種電子元件和感應器。這些電路包括電源管理電路、時鐘電路、USB 通訊電路、輸入/輸出電路等等，可以為使用者提供更多的功

能。

3. 擴展連接器：擴展連接器可以用於連接各種擴展板和模塊。例如，Arduino Uno 板子上就有 14 個數位腳位和 6 個類比腳位，使用者可以通過這些腳位連接各種電子元件。此外，Arduino 還提供了其他擴展連接器，如 I2C、SPI、UART 等，可以用於連接各種外部設備，如感應器、顯示螢幕、無線模組等等。



圖 20 Arduino uno 示意圖

2.3.3 Arduino 的軟體環境

IDE 是 Integrated Development Environment 的縮寫，也就是 Arduino 的軟體開發環境，你可以在上面寫好程式碼，按下「驗證鍵」，等待 Arduino IDE 檢查你的程式沒有問題以後，再按下「上傳鍵」，Arduino IDE 就會將你的程式碼，透過 USB 傳輸到你的 Arduino 開發板上了，如果電路也連接正確，Arduino 開發板就會執行設計的工作。軟體開發環境包括 Arduino IDE 和相關程式庫。Arduino IDE 是一個基於 Java 的跨平台集成開發環境，可以讓使用者編寫、上傳和調試 Arduino 程式碼。以下是 Arduino 開發環境的一些特點：

1. 程式編輯器：Arduino IDE 內建一個簡單易用的程式編輯器，可以讓使用者輕鬆撰寫和編輯 Arduino 程式碼。
2. 程式庫：Arduino IDE 還內置了許多程式庫，使用者可以輕鬆地將這些程式庫添加到自己的專案，以實現更複雜的功能。
3. 編譯器：可以將使用者編寫的 Arduino 程式碼轉換為機器語言。使用者可以單擊編譯按鈕來編譯程式碼，並檢查是否有錯誤。
4. 上傳工具：可以將使用者編譯完成的程式碼上傳到 Arduino 板子上執行。使用者可以單擊上傳按鈕來上傳程式碼，並在 Arduino 板子上運行。此外，Arduino 還支持第三方案式庫和工具，使用者可以根據自己的需求進行擴展。



圖 21 Arduino 的 IDE 介面

2.3.4 Arduino 有哪些優點

前面我們對 Arduino 的軟體與硬體環境有些基本認識，底下來看看 Arduino 有哪些優點。由於 Arduino 平台是開源的，在硬體本身是不主張專利的，任何人都依照官網的電路圖自己生產印刷電路板的複製品，還能重新設計，且開發軟體用工具也是開放免費的，創造了更多可能性。我們知道 Arduino 是個開放平台，旨在讓使用者可以輕鬆開發各種專案，因此在設計和功能上與其他單晶片有較大區別。以下是 Arduino 與其他單晶片的一些區別：

1. 開放平台：Arduino 允許使用者用其硬體和軟體來開發專案。使用者可以簡單連接電路和撰寫程式，而不需要複雜的設計和製造。
2. 易於學習：Arduino 使用類似 C 語言的編程語言，並提供了許多範例。初學者可以輕鬆開發自己的專案。
3. 低成本：硬體價格實惠，而且有很多廠商可以供應，因此成本比其他單晶片低廉得多。
4. 模塊化：Arduino 硬體可以搭配各種擴展板，使用者能靈活地擴展和升級專案。

因為價格便宜、使用容易，所以網路上每天都有人分享他們的作品與程式碼，例如：飛行器、智慧車、機器人、機械手臂、遙控相機、自動澆水機、家電控制，智慧居家監控系統。通過 Arduino，可以發明出很多有意思的，有用處的機器，為生活提供便利。還是那句老話，只有想不到，沒有做不到！這就是 Arduino 的魅力！！

3. 系統實作與介紹

3.1 系統硬體介紹

3.3.1 Arduino 開發板 UNO

Arduino 開發板品項眾多，各有其特色，使用到的 Arduino 開發板為 Uno，以下將以 Uno 為範例，做詳細的硬體介紹。

1. 規格

Arduino Uno 是一款基於 ATmega328P 的微控制器板。它有 14 個數位輸入/輸出接腳（其中 6 個可用作 PWM 輸出），6 個類比輸入，16 MHz 石英晶體，USB 連接孔，電源插孔，ICSP 接頭和重置按鈕，基本規格如表 3 所示。

表 3 Arduino Uno 規格

名稱	規格
微控制器	ATmega328P
工作電壓	5V
建議輸入電壓	7-12V
限制輸入電壓	6-20V

2. 電源

Arduino Uno 板可通過 USB 連接或外部電源供電。外部（非 USB）電源可以使用電源供應器、9V 電池，通過將 2.1mm 插頭插入電路板的電源插孔供電。注意如果供電電壓低於 7V，則 5V 輸出腳位可能電壓不足，電路板可能會變得不穩定。如果使用 12V 以上，電壓調節器可能會過熱並損壞電路板。開發板上有個標示為 ON 的 LED，用來指示電源供應狀況，如果已提供電源的情況下，發現標示為 ON 的 LED 閃爍、黯淡或熄滅，應儘快拔除電源，檢查電源供應是否正常，以避免損壞控制板。Arduino Uno 上與電源有關的接腳列於表 4。

表 4 電源腳位介紹

腳位名稱	介紹
VIN	電路板在使用外部電源時的輸入電壓，可以通過此腳位提供電壓。
5V	從電路板上的穩壓器輸出 5V 穩壓電壓。
3V3	由穩壓器產生的 3.3V 電源。最大電流消耗為 50 mA。
GND	接地。
IOREF	讓其他設備知道 Arduino 控制板的運作電壓。

3. 類比輸入腳位

A0 至 A5 (A 代表 Analog) 可用來接受類比電壓輸入，但不能輸出類比電壓。每隻腳預設會將 0V 到 5V 轉換為 0 至 1023 的數值。對於輸出電壓為其他範圍的電路模組，可以透過 AREF 腳與函式 `analogReference()`，來提供參考電壓。A0 至 A5 也可作為數位輸出、輸入腳位使用，此時 A0 至 A5 分別可視為 D14 至 D19。

4. 數位輸出、輸入腳位

D0 到 D13 (D 代表 Digital) 可輸出高電位 5V 與低電位 0V 的數位訊號，也可接受數位訊號。

5. 其他腳位功能

除了數位 I/O 與類比輸入，Arduino Uno 還有提供其他功能，詳細描述於表 5。

表 5 Arduino Uno 其他腳位功能

功能	腳位	介紹
Serial 通訊	D0(RX)、D1 (TX)	用來接收(RX)與傳輸(TX) TTL 訊號的序列資料，連接到 USB 序列埠，因此如果電腦使用 USB 與控制板傳輸數據(控制板上標示為 RX、TX 的 LED 閃爍)，則應避免使用此腳位。
外部中斷	D2、D3	這兩支腳可以利用外部事件觸發中斷。詳細內容請參考 <code>attachInterrupt()</code> 函式。
PWM	D3、D5、D6、D9、D10、D11	可看見這些腳位旁有波浪符號 (~)。透過 <code>analogWrite()</code> 函式用數位訊號來模擬類比訊號輸出，提供 8-bit 的 PWM (Pulse Width Modulation)。
SPI	D10(SS) D11(MOSI) D12(MISO) D13 (SCK)	這 4 支腳搭配 SPI Library 可提供 SPI 序列通訊。
LED	D13	若是原廠控制板，預設會燒錄一個令 D13 定時切換高低電位的 Blink 程式，因此，首次接上電源時，會看到開發板上標示為 L 的 LED 不斷閃爍，這是初步檢視控制板是否功能正常的方式。
I ² C	A4 (SDA) A5 (SCL)	透過 Wire library 可以提供 I ² C 通訊。
AREF	AREF	類比輸入的參考電壓，搭配 <code>analogReference()</code> 函式一起使用。
Reset	Reset	按下重置鈕會使開發板重新執行使用者寫入之程式。當 Reset 腳位 LOW 時，功能如同按下重置鈕。

3.3.2 Arduino 軟體介紹

Arduino IDE 所用的程式語言語法類似於 C/C++，具備文字編輯介面、常用工具欄、圖形化控制介面及一鍵編譯並將程式燒寫入 Arduino 硬體中。而使用 Arduino IDE 編寫的程式被稱為 Sketch，一個典型的 Arduino C/C++ sketch 程式會包含兩個函式：setup()及 loop()，如圖 1.4，它們會在編譯後合成為 main()函式。

- ✓ setup()：在程式執行開始時會執行一次，用於初始化設定。
- ✓ loop()：直到 Arduino 硬體關閉前會重複執行的程式碼。



圖 22 Arduino 開發環境介面

圖 22，Arduino IDE 畫面由上而下共有五個區域，分別是系統選單 (menus)、快捷選單 (toolbar buttons)、程式編輯區塊 (text editor)、系統消息區 (message area) 與編輯狀態顯示區 (console)。Arduino IDE 系統選單中有許多功能，包含 FILE (檔案)、EDIT (檔案)、SKETCH (草稿碼)、TOOL (工具) 及 HELP (說明)。SKETCH->IMPORT LIBRARY (匯入程式單) 裡面包含許多常用的函式庫，開發者只要熟悉函式庫裡的參數設定，即可使用函式庫所提供功能。在 TOOL 下則有硬體開發板及序列埠的設定，至於 FILE 下，則可以找到不少範例程式，易於讓初學者了解 Arduino IDE 與硬體間的關係，並快速上手。

快捷選單由左而右有五個按鈕，提供開發者快速操作，分別代表 VERIFY/ COMPILE (程式編譯及驗證)、UPLOAD I/O BOARD (上傳程式到硬體開發板)、NEW (新增檔案)、OPEN (開啟舊檔)、以及 SAVE (儲存專案)，最右邊還有一個按鈕，是 SERIAL MONITOR

(監視串列埠)，開發著可用來監看專案程式運行過程，詳細說明列於表 6。而程式編輯區塊供使用者輸入欲執行程式，系統消息區則簡單回報目前程式狀況，完整的執行狀況紀錄於編輯狀態顯示區，更可藉由此介面監視 Arduino I/O 數值。

表 6 Arduino IDE 快捷選單

英文	中文	功能
verify/ compile	驗證	檢查參數設定或引入程式是否產生錯誤。
upload	上傳	程式進行編譯，將程式碼透過 USB 介面燒錄至 Arduino 控制板。
new	新增	產生新的 Sketch
open	開啟	開啟腳本，顯示在同一頁面上。
save	儲存	Sketch 儲存。
serial monitor	序列埠監 控視窗	開啟監視器頁面，監視 Arduino I/O 介面。

3.2 超音波測距離專案

HC-SR04 超音波測距感測器是由超音波發射器、接收器和控制電路所組成。它是一個非常實用且常見的模組，特別是用在智慧車、電子尺等專案中，用來測量前方障礙物的距離。當它被觸發的時候，會發射一連串 40 kHz 的聲波，由於這個聲波的頻率超過人類可聽見的 20kHz，因此被稱為超音波，並且從離它最近的物體接收回音，HC-SR04 可以感測的距離為 2cm 到 400cm，感應角度為 15 度。超音波感測器測量距離的方法，是利用超音波碰到物體會反射的特性，計算發射與接收的時間差，來計算出距離，給 trig pin 一個 10 us TTL pulse，模組會發射 8 個 40kHz 的聲波出去，然後量測訊號是否回來，如果有收到 TTL 的高電位訊號，那 Echo 會送出超音波來回的時間，此 HIGH 位準脈衝上緣可以看成超音波開始發射時間；而下緣則是接收到反射波的時間，所以整個高位準脈衝的寬度就是超音波往返的總時間。

進入實作專案前，我們先使用 Tinkercad 線上 Arduino 模擬軟體，來減少學生實作上的挫折感。Tinkercad 是一款基於瀏覽器的簡單電路模擬且擁有很多電子元件、傳感器、微控制器等，能夠通過拖曳形式搭建出各種電路，並提供積木乃至程式碼編寫介面，就算沒有相應硬體都能模擬出各種電路的執行效果，它是一款免費、易於使用做電子迴路及編碼設計，近年來在創客領域非常受歡迎，廣為教師、學生、業餘愛好者、設計師所使用。

首先，先提供線上 Tinkercad 超音波測距電路(圖 25 所示)給學生參考，並請學生複製出相同電路並解釋其電路讓學生了解之原理，讓學生瞭解 Arduino 套件的使用與杜邦線的接法，如何查看板子腳位與相關程式撰寫。接下來，提供 Arduino 程式碼給予學生直接實作，同樣地，也是每一行解釋，讓學生懂得程式的功能及使用方式。我們也使用 Microsoft Teams 讓學生線上繳交作業，線上系統允許學生提交更多樣化的作業形式，例如圖片、影片、程式碼或互動報告，提升創意與表達能力並可以快速檢索特定學生或特定作業的記錄。

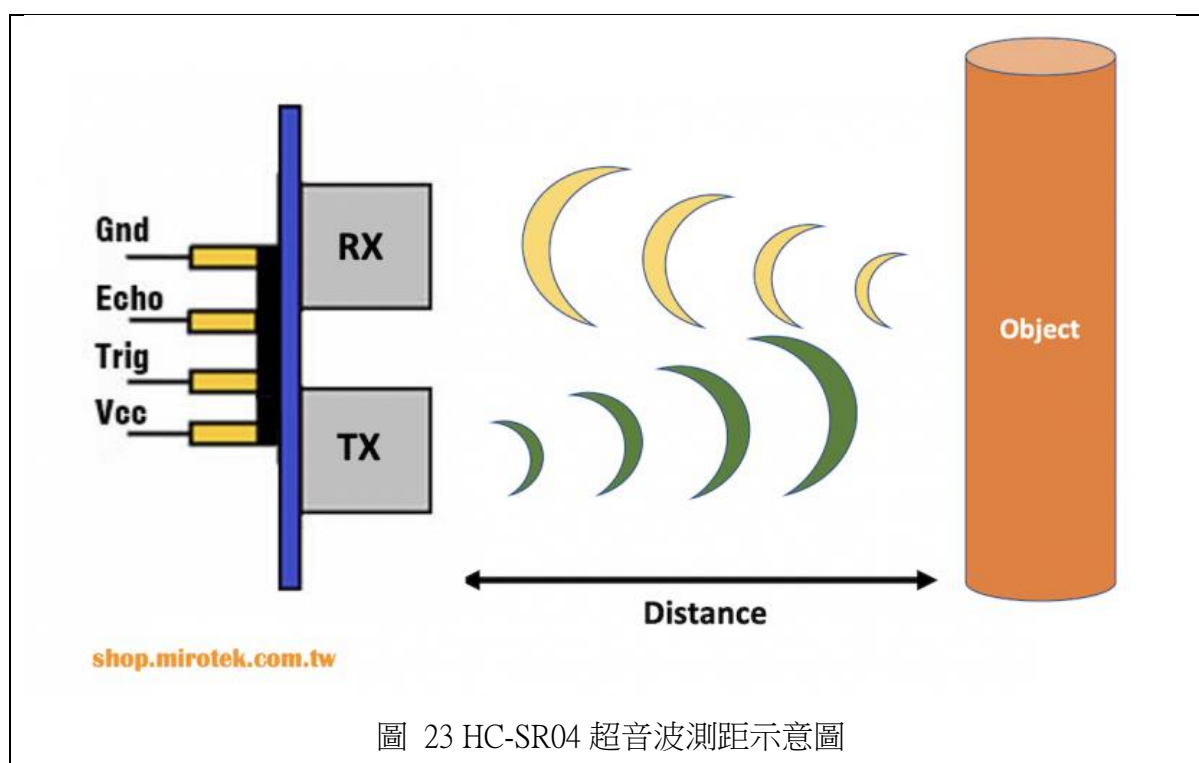


圖 23 HC-SR04 超音波測距示意圖

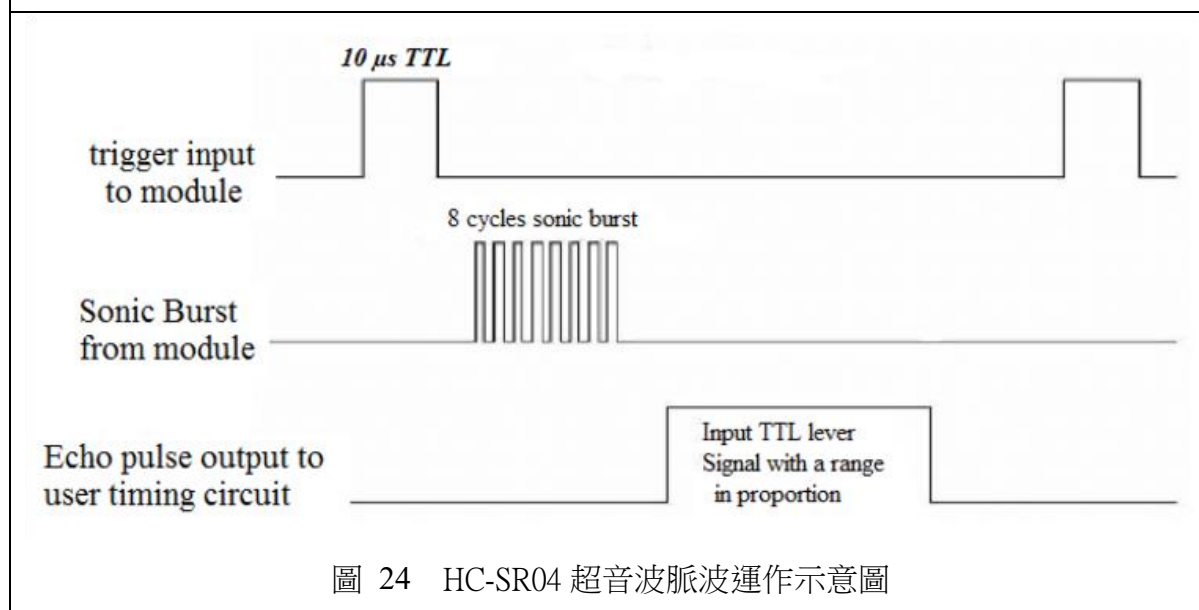


圖 24 HC-SR04 超音波脈波運作示意圖

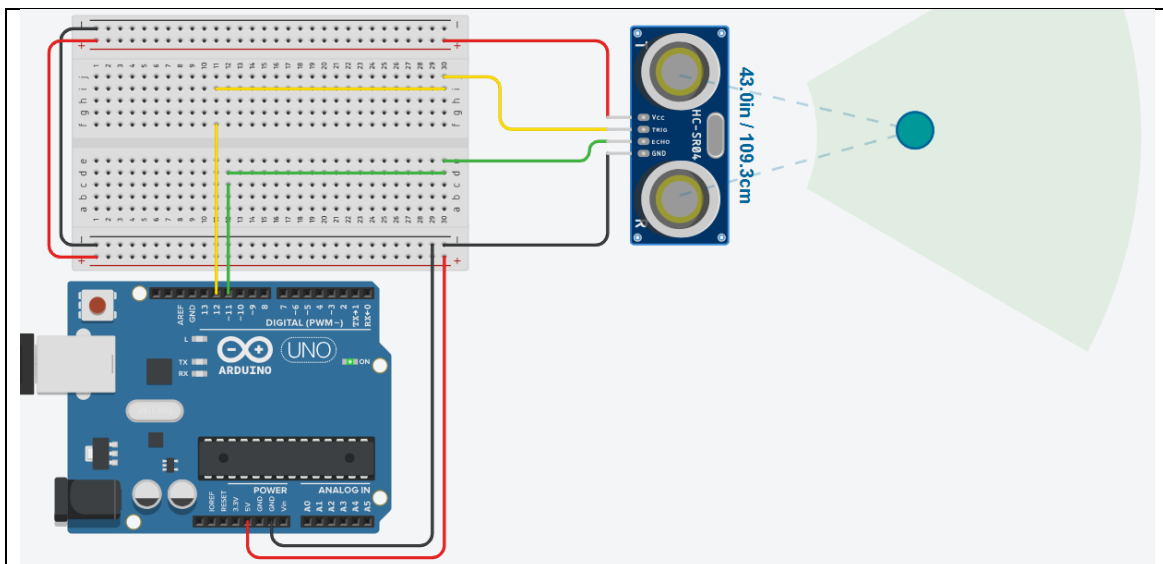


圖 25 超音波測距電路

文字

↓
📁
AA

1 (Arduino Uno)

```

1  int trigPin = 12;    // 超音波感測器 Trig腳接 Arduino pin 12
2  int echoPin = 11;   // 超音波感測器 Echo 腳接 Arduino pin 11
3  int speakerpin = 7;  // 蜂鳴器 + 腳接 Arduino pin 7
4  long duration, cm;  // 宣告計算距離時，需要用到的兩個實數
5  void setup() {
6      Serial.begin (9600);          //設定序列埠監控視窗 (Serial Monitor)
7                                     //和 Arduino資料傳輸速率為 9600 bps (Bits Per Second)
8      pinMode(trigPin, OUTPUT);     //Arduino 對外啟動距離感測器Trig腳，射出超音波
9      pinMode(echoPin, INPUT);      //超音波被障礙物反射後，Arduino讀取感測器Echo腳的時間差
10     pinMode(speakerpin, OUTPUT);  //Arduino對蜂鳴器送出電壓，使其鳴叫
11 }
12 void loop()
13 {
14     digitalWrite(trigPin, LOW);
15     delayMicroseconds(5);
16     digitalWrite(trigPin, HIGH);
17     delayMicroseconds(10);
18     digitalWrite(trigPin, LOW);
19     pinMode(echoPin, INPUT);
20     duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
21     cm = (duration/2)/29.1;        //計算公式 //程式計算出距離值 cm
22     Serial.print(cm);             //印出距離值 cm 在序列埠監控顯示器 單位公分
23     Serial.println(" cm");
24
25     if (cm <= 10) {                //距離小於5公分，蜂鳴器一直叫
26         tone(speakerpin, 4186, 500); //危險：發出高音Do
27         delay (20);
28     }
29     if (cm > 10 && cm <= 30) {     //距離介於5到15公分，蜂鳴器斷斷續續叫，每次0.1秒
30         tone(speakerpin, 532, 100); //危險：發出高音Do
31         delay (300);
32     }
33     if (cm > 30 && cm <= 130){    // 距離大於15公分，蜂鳴器斷斷續續叫，每次0.5秒
34         tone(speakerpin, 32, 100);  //危險：發出高音Do
35         delay (1000);
36     }
37     delay(10);
38 }

```

🖨
串列監視器

圖 26 超音波測距程式碼

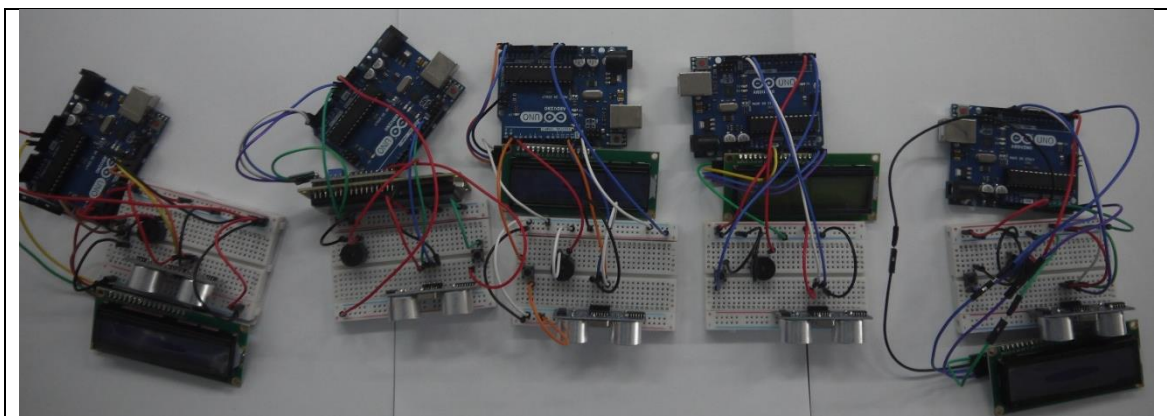


圖 27 超音波測距實際電路呈現 1

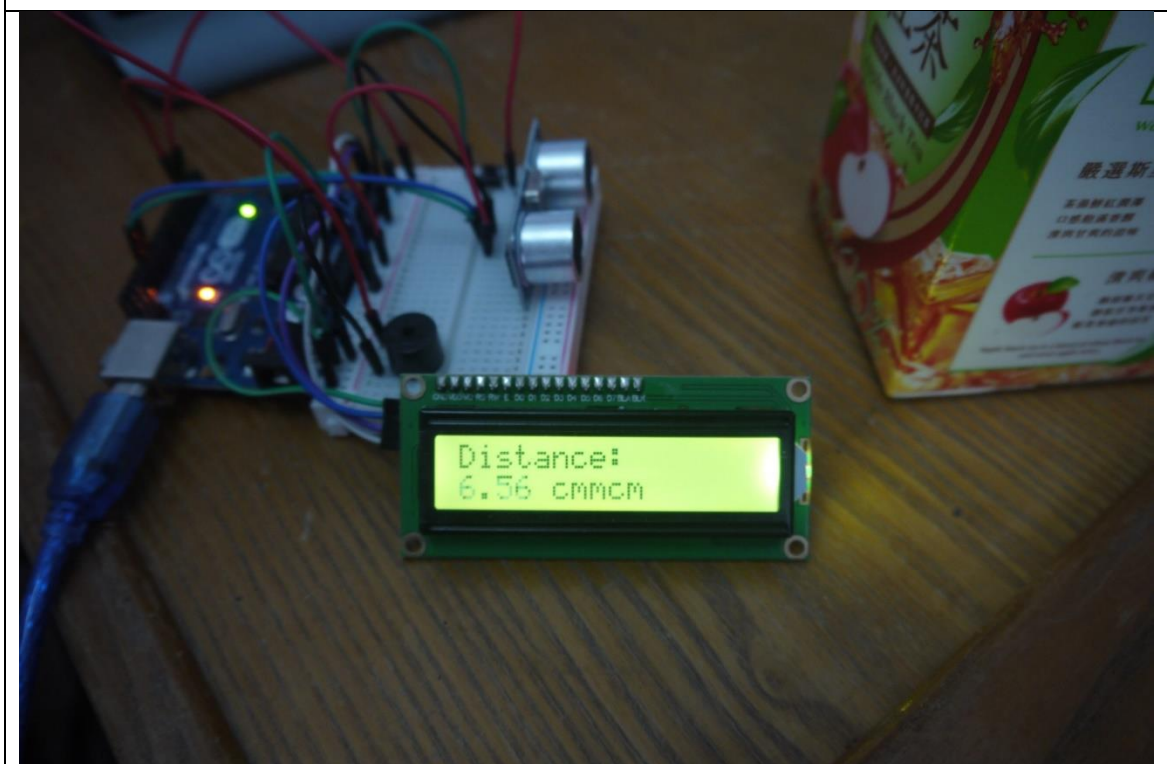


圖 28 超音波測距實際電路呈現 2

3.3 超音波倒車雷達

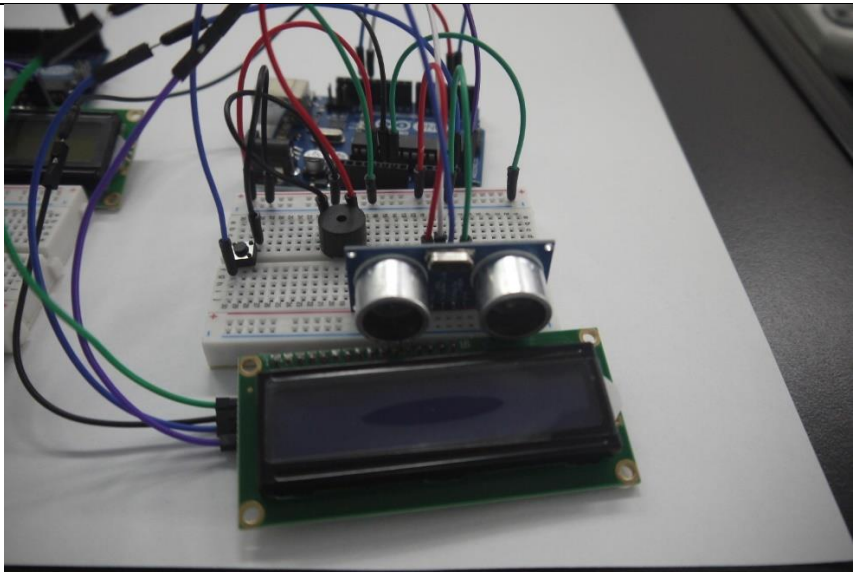


圖 29 超音波倒車雷達實際電路

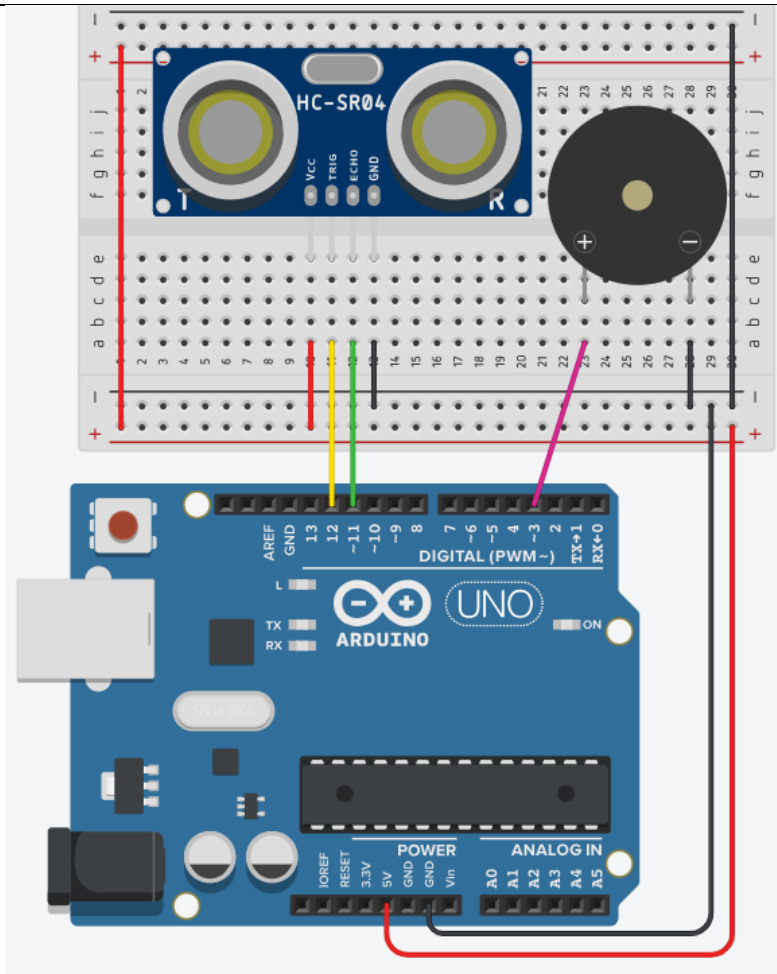


圖 30 超音波倒車雷達模擬電路

3.4 超音波測速槍

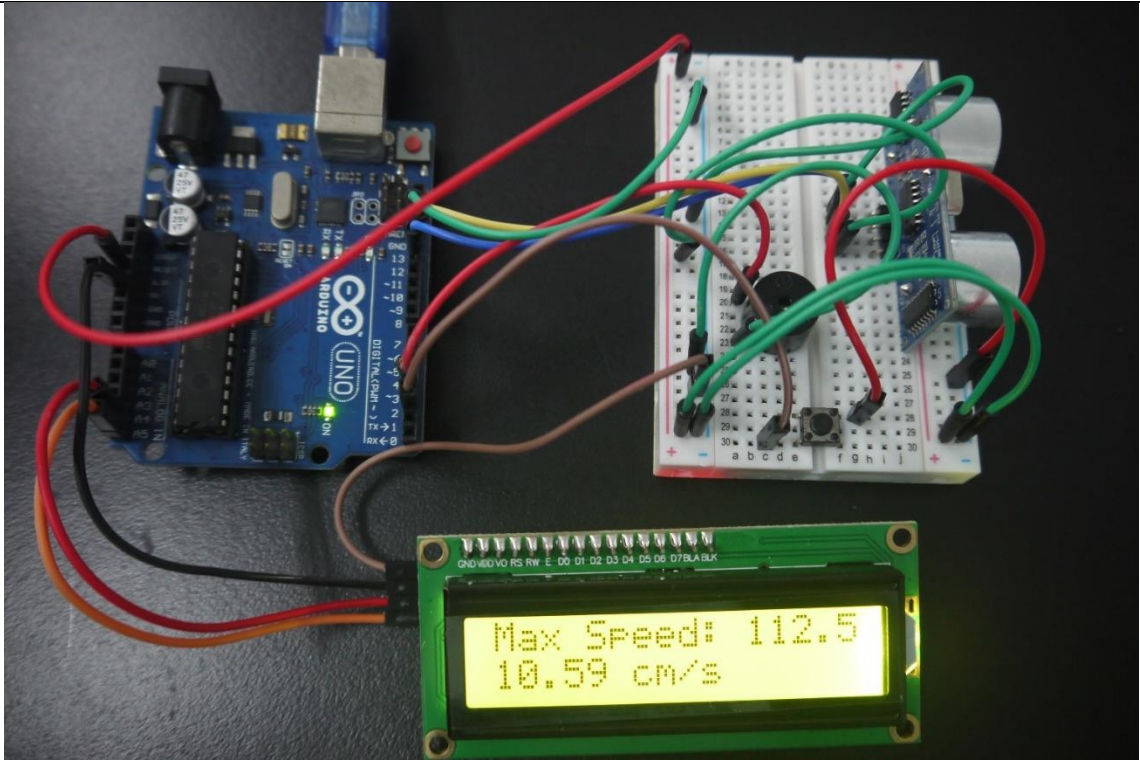


圖 31 超音波測速槍電路輸出顯示

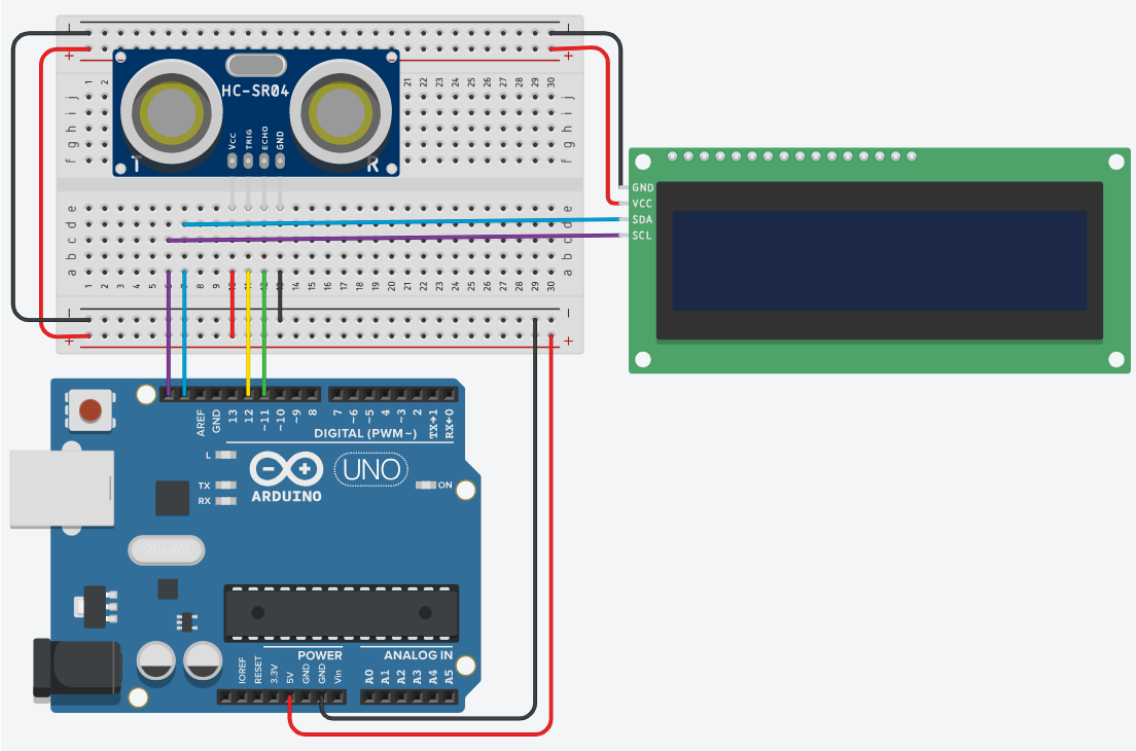


圖 32 超音波測速槍模擬電路

3.5 Arduino 超音波雷達物體掃描及模擬顯示

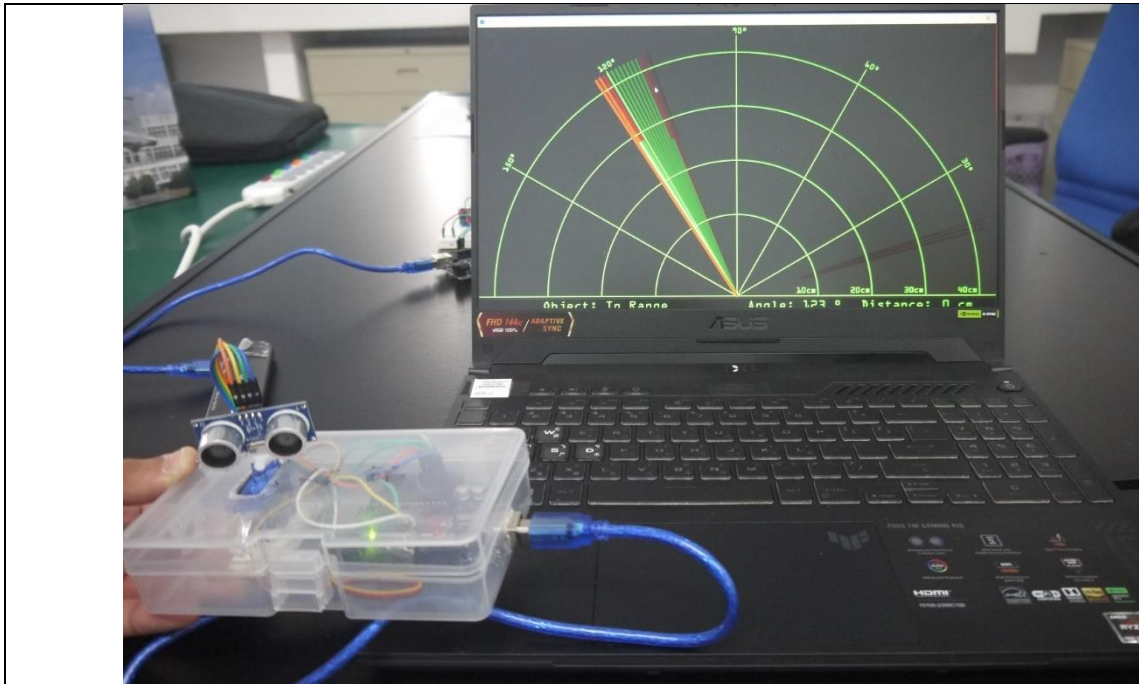


圖 33 超音波雷達物體掃描及模擬顯示 1



圖 34 超音波雷達物體掃描及模擬顯示 2

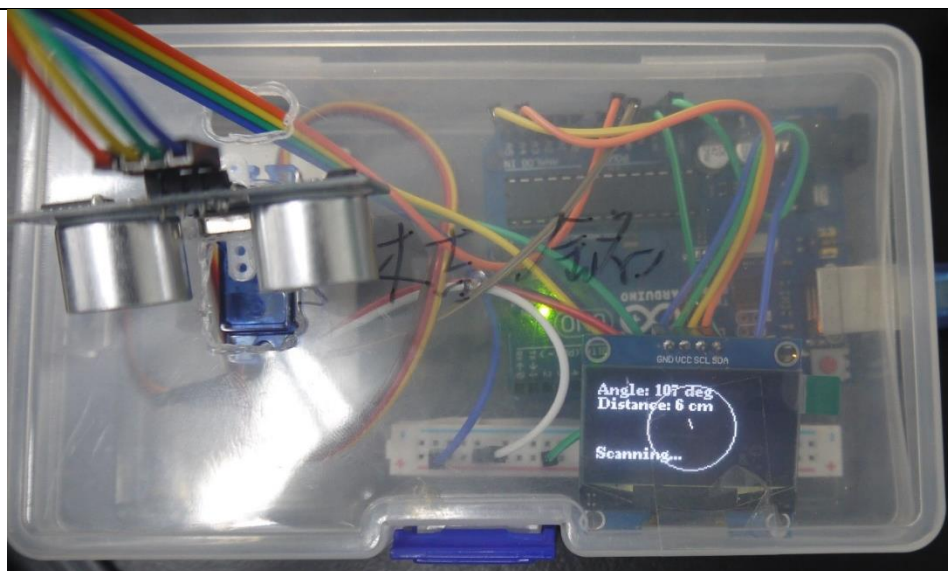


圖 35 超音波雷達物體掃描及模擬顯示 3

4. 結論

在本專案實作中，介紹 Arduino Uno 的硬體裝置以及軟體開發環境，同時帶領學生熟悉如何利用 Arduino IDE 進行超音波感測器相關開發以及一些程式解析。更重要的是，利用超音波感測器實作與雷達相關作業，增加學生的自信心。另結合了科學（超音波原理）、技術（電子元件）、工程（系統設計）、藝術（創意實現）和數學（測距算法）的多學科知識，是 STEAM 教育中實踐教學的理想題材。教師可將其作為課堂或實驗室專案，幫助學生將理論與實踐結合。

本專案成功實現了一個基於 Arduino 的超音波感測器倒車雷達及測距離系統，展現了創新應用電子感測技術的實作能力與教育價值。在硬體設計、程式開發和功能測試的過程中，該系統不僅滿足了測距需求，還為教學和學習提供了多種應用場景支持。

1. 距離測量準確且穩定

系統利用超音波感測器(如 HC-SR04)穩定測量障礙物距離，準確性符合實際應用需求，且適合多樣化場景，例如倒車輔助與距離感測設備。

2. 即時反饋與提醒功能

系統根據障礙物的距離發出不同頻率的蜂鳴聲，提供即時的安全警告功能，模擬真實倒車雷達系統的操作，提升了系統的實用性和學習體驗。

3. 簡易架構與低成本實現

本專案採用 Arduino 開發板和常見超音波感測模組，元件成本低廉，硬體架構簡單，適合初學者及學生進行電子設計與編程入門。

4. 靈活的程式擴展性

程式碼可靈活修改，支持多功能擴展，例如增加距離顯示（LCD 或 Serial Monitor）、記錄數據或與其他感測器協作的應用。

此專案不僅展示了超音波感測器技術在測距、倒車輔助及雷達掃描顯示的應用價值，也成為實現跨學科融合教育的優秀範例。透過此專案，學生能夠全面學習感測技術、電子電路與程式設計，並將所學知識應用於解決真實問題，激發其創新能力與實踐興趣，具有重要的教育意義和應用潛力。

參考資料

- [1] 趙英傑, "超圖解 Arduino 互動設計入門 (第四版)", 旗標出版社, 2020
- [2] 羅啟雄, "AIoT智慧物聯網應用實習", 台科大出版社, 2022
- [3] 向敬成和張明友, "雷達系統", 五南出版社, 2004
- [4] Burgmann, R., Rosen P. A., Fielding, E. J., 2000. Synthetic aperture radar interferometry to measure Earth' s surface, topography and its deformation, Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 28, 169-209.
- [5] Haitham K.Ali, Jihan S. Abdaljabar, Sura M.Abdullah, Design of Ultrasonic Radar," International Journal of Emerging Science and Engineering(IJESE) 3 (7) (2015)
- [6] Strakowski, M. R., Kosmowski, B. B., Kowalik, R., & Wierzba, P. (2006). An ultrasonic obstacle detector based on phase beamforming principles. Sensors Journal, IEEE, 6(1), 179-186.
- [7] SerialChart官方網址：<https://github.com/starlino/serialchart>
- [8] Pulver, Tim, "Hands-On Internet of Things with MQTT", 2019
- [9] <https://shop.mirotek.com.tw/iot/esp32-start-10/>
- [10] MQTT：物聯網訊息傳遞標準, <https://mqtt.org/>

個人資料表

計畫主持人個人資料				
中文姓名	吳峰蒼	聯絡電話	087758633	
英文姓名	Feng-Tsang Wu	行動電話	0928797590	
通訊地址	岡山郵政90395	身分證字號	T122994713	
電子郵件位址	wu797590@gmail.com			
學歷	學校名稱	院系級別	起訖年月	
	空軍航空技術學院 航空通訊電子系	學士	91.07-93.07	
	國立高雄第一科技 大學腦與通訊工程 研究所	碩士	96.09-100.01	
	國立中山大學通訊 工程研究所	博士	102.09-109.10	
現職	服務機關名稱	職稱	擔任工作	起訖年月
	軍航空技術學院航空 電子工程科	助理教授	教學、研 究、服務	110.2-迄今
經歷	服務機關名稱	職稱	擔任工作	起訖年月
	空軍航空技術學院 航空電子工程科	講師	教學、研 究、服務	102.04-110.2
	空軍航空技術學院 軍事學科部資訊電 子組	教官	有線電通 信教官	99.08-102.04
	空軍航空技術學員 生指揮部學生五中 隊	區隊長	管理學生	98.05-99.08
	空軍航空技術學院 軍事學科部資訊電 子組	教官	有線電通 信教官	97.10-98.05
	空軍通信航管資訊 聯隊第四中隊	通信官	有線電修 護	93.7-97.10
專長	雷達系統、錯誤更正碼、通信系統、物聯網專題實作			

任務編組表

類別	姓名	服務機構/系所	職稱	與本研究計畫 相關之條件	在本研究 計畫擔任 之具體工 作性質、項 目及範圍
主持人	吳峰蒼	空軍航空技術學院 航空電子科	助理 教授	執行 Arduino 結合 超音波雷達感測 器之實作及教學	規劃研究 工作，分 工、督導研 究計畫及 各工作項 目
共同主 持人	廖家德	空軍航空技術學院 航空電子科	副教授	協助雷達學理 課程教學	雷達學理 課程教學
協同主 持人	陳彥銘	國立中山大學 通訊工程研究所	副教授	協助基礎學理 課程教學	基礎學理 課程數學 式推導設 計
協同主 持人	吳威龍	空軍航空技術學院 通電系	助理 教授	協助執行 Arduino 結合超音 波雷達感測器之 實作及教學	數學式推 導設計