

出國報告(出國類別：進修)

## 碩士進修報告

服務機關：國防部軍備局生產製造中心第二〇二廠

姓名職稱：李宗翰上尉

派訓國家：美國

出國時間：109年8月10日至111年7月2日

報告日期：111年8月20日

## 摘要

本次進修奉國防部 109 年 12 月 17 日國人管理字第 1090275659 號令核定赴美國戴頓大學機械工程系碩士班進修。進修期程自 109 年 8 月 10 日至 111 年 8 月 9 日止，另因疫情影響修訂出國日期自 109 年 12 月 20 日至 111 年 8 月 12 日，在台期間採視訊方式上課，職於 111 年 6 月 30 日完成全數課程，於 111 年 7 月 4 日返國，並依中央流行疫情指揮中心實施 4 天居家隔離及 3 天自主健康管理後返廠報到。

本案報告內容主要為赴美國進修 2 年期間之學習過程及修業心得，網要有目的、進修過程、心得與建議及參考資料來源等項，碩士期間主要修業課目計「連續力學」、「進階工程數學」、「工程經濟」、「工程法律」、「系統工程」、「彈性力學」、「材料科學」、「高分子材料」、「控制系統」、「軟材力學」等 10 門課目，接觸不同文化領域之學生，學習並反思相關觀點砥礪精進本職學能。



## 目錄

壹、目的 .....	3
貳、進修過程 .....	3
參、心得與建議 .....	22
肆、參考資料 .....	24
伍、附件 .....	24

## 壹、目的

本次進修奉國防部 109 年 12 月 17 日國人管理字第 1090275659 號令核定赴美國戴頓大學機械工程系碩士班進修。進修期程自 109 年 8 月 10 日至 111 年 8 月 9 日止，另因疫情影響修訂出國日期自 109 年 12 月 20 日至 111 年 8 月 12 日，在台期間採視訊方式上課，職於 111 年 6 月 30 日完成全數課程，於 111 年 7 月 4 日返國，並依中央流行疫情指揮中心實施 3 天居家隔離及 4 天自主健康管理後返廠報到。

本報告係依「行政院及所屬各機關出國報告綜合處理要點」相關規定撰擬，旨在提供進修經驗研究心得予相關人員參考運用。

## 貳、進修過程

### 一、學校簡介

戴頓大學為美國俄亥俄州戴頓市的私立天主教大學，由美國聖母會成立於 1850 年，設有超過 80 個學士課程學位與 50 個研究所課程學位，由五大學院所組成分別為藝術學院、商學院、教育與健康科學學院、工程學院與法學院，於卡內基高等教育機構分類(Carnegie Classification of Institutions of Higher Education) 中被評為 R2 學校，具高度研究活動，全校計 12,028 名學生、累計畢業生超過 12 萬 5,000 名，並在全美天主教學校中工程系所排名第一，該校以航太工程、企業管理科系聞名，並為首間授予人權課程學位之學校，學校校風講究多樣性與包容。





University  
of Dayton

圖 1-戴頓大學校徽



圖 2-戴頓大學校園

## 二、修業與評分標準

學業成績平等 GPA 區分由 A 至 F 等第，換算對應成績為 A:4.0、A-:3.67、B+:3.33、B:3.0、B-:2.67、C+:2.33、C:2.0、C-:1.67、D+:1.33、D:1.0、D-:0.67、F:0，其中職所修之專業機械工程畢業標準為至少修畢 30 學分(數學領域至少 3 學分、專業領域至少 18 學分；或 24 學分專業領域及 6 學分之論文研究)。

## 三、課程介紹

機械工程系所學生要求專業領域為航太(Aerospace Engineering, AEE)、新興能源(Renewable and Clean Energy Engineering, RCL)、機械(Mechanical Engineering,



MEE)，另國際學生須額外修學術寫作及專業能力發展課程，職最終修畢 37 學分、平均 GPA3.74，相關修業課程摘述如后：

#### (一)學術寫作

申請入學時通過語文檢定門檻或未通過門檻但修畢校內語言加強課程者必修，主要銜接國際學生研究所所需之語言能力，著重於文獻摘重閱讀、教授學術研究文章之撰寫方法與結構、識別引用註釋與抄襲之間差異。透過每節課小組討論與寫作作業或報告等活動，培養學生寫出學界認可之文章結構，教學系統會自動偵測文章重複比率，要求至少不得超過 20%相似度，以端正學術研究原創風氣。

#### (二)專業能力發展

主要針對國際學生教授校內網路資源、圖書資源、協助提供寫作輔導等相關服務介紹，並介紹美國學術文化、校內性別侵害防治、反歧視防治、反霸凌防治等，因學術風氣及國情差異等因素，許多國際學生對於美國大學文化不甚了解，經過大略介紹相關資訊之後，對於一般國際學生來說可獲得相當程度幫助，尤以課後個別輔導(可協助進度落後學生安排助教特別指導)、校內外實習(協助學生於求學階段即可獲得工作經驗)幫助甚鉅，許多國際學生於畢業後實習轉正直接入職工作，對於產學交流風氣形成正面循環。

#### (三)連體力學

本課程為機械專業基礎，主要學習尤拉坐標系及拉格朗日坐標系相關數學基礎，並以此延伸教授以時間為函數的空間概念動力學，對於機械工程探討宏觀應力、應變關係等概念為相關課目之基礎，另在機械領域古典假說上



區分為固體機械性質與液體機械性質，其中固體機械性質依照應力應變關係又細分為線性彈性、非線性彈性、塑性、黏性彈性等領域；流體機械性質則細分為黏性及非黏性領域(相關區分詳附表)，於課堂上針對各領域常見經典方程式及相關理論詳盡介紹，並且對常見材料檢驗或實驗測定機械性質之方法解析相關彈性模數、降伏強度、最大拉伸強度等概念，同時介紹常見運動狀態下針對材料之應力應變對應變化曲線，以利進階課程或延伸領域研究基礎概念之準備。

表 1-機械力學區分表

連體力學 (Continuum Mechanics)	固體力學 (Solid Mechanics)	線性彈性 (Linear Elasticity)
		非線性彈性 (Nonlinear elasticity)
		塑性(Plasticity)
		黏性彈性(Viscoelasticity)
	流體力學 (Fluid Mechanics)	黏性(Viscous)
		非黏性(Inviscid)

#### (四)進階工程數學

本課程主要介紹傅立葉級數、邊界問題數學及其相關熱力學、波動方程問題討論與應用，以傅立葉級數處理週期性、傅立葉積分處理非週期性函數的工程問題，可將無法處理的函數化為可處理的表達式，代入空間或時間概念等邊界條件，應用於機械領域上求得材料基本機械性質，或處理模擬、設計等問題，課程著重嚴謹數學推導與證明、經典方程式介紹與演練。

#### (五)工程經濟

此為選修課程，主要核心為利率與時間概念，學習使用前揭 2 項概念針對事物在不同時間軸上做價值換算，主張經濟活動乃至人類社會涉及相關事物均有其價值原則，以嚴謹角度探討決策流程，以個人角度來研討可處理貸款之簡易問題、以公司規模組織來探討，可將時間成本數據化，瞭解資金用於採購或培訓對比其他投資未察覺之隱形成本、固定資產或其他適用折舊方式的會計計算、以政府或大規模組織來探討，可輔助長時間服務或重大決策做經濟效益分析，除常規期中考外須額外研究主題提出分析報告，透過該門課可以重新審視數據化與經濟效益，以相關概念輔助決策更能支持永續發展或生涯規劃等目標。

#### (六)工程法律

此為選修課程，主要介紹工程專業於實務上面臨的各種法律規定，美國法庭除基本法律定義外注重實務判例與證據呈現，由法官輔助隨機抽取之合於標準陪審團決定案件結果，視案件層級依各州或聯邦規定比例多數或一致裁決，以確保判決結果一致，除課程主題外，每週須額外報告與主題相關判



例在課中研討，俾提升學習成效，主題範圍涵蓋憲法保障之人權、法庭程序、侵權與犯罪、傳統合約與電子化契約、通用國際商業原則、債務人與債權人權利、勞動法、商業組織法、各州常見地方法。此課程面向群體為工程系學生，對於法理探討較少，更多針對常見商業行為討論實務法規及判例，美國許多經典法案均取自首次發生的關係人名，藉由學習各經典案例的認定標準與背景知識，促進工程系學生的學習意願，提升往後職場工作之基礎與管理相關知識，對於社會上各項議題亦能明確找出核心問題。

#### (七)系統工程

此為選修課程，主要修課學生為工程管理相關科系學生，主要學習專案相關規劃，依專案性質展開主要目標與次要目標等，再依工程常識展開總成、次總成、零件，分別針對各階層定義運作標準，使用工程知識理解並分析客戶需求，課中採隨機分組討論促進不同領域學生交換意見，運用課堂所學流程規劃工具、企業常見表單等進行分組報告，並說明規劃可行性，透過該課程瞭解企業運作常見工具，教授學生未來就業所需具備處理大型乃至瑣碎項目能力。

#### (八)彈性力學

此為進階機械課程，延伸固態機械性質中的線性與非線性彈性知識範疇，主要教授動力平衡式導論與應用、彈性與形變、材料機械性質、延展、彎曲、扭矩、平面彈性、表面彈性等主題，著重嚴謹理論與公式推導，延伸基礎機械原則理論依照真實狀況，對於公式相關假設定義求證、歸納並推導常見機械變形之力學分析。



### (九)材料科學

本課程為材料專業基礎，以微觀角度探討原子間交互影響關係，在微觀角度上原子排列或化學鍵直接決定材料宏觀機械性質，介紹經典晶體排列結構與分析計算等，說明近百年材料發展過程經典實驗與理論，在材料科學快速發展的現代，其假說與理論等不斷推陳出新，相關成果應用也較其他學科更為直觀，因材料在不同比例、不同相態均會產出不同晶粒排列從而改變特性，如晶體缺陷可能直接反映在材料較軟之特質，惟透過合金方式將晶體缺陷提升到相當程度，則材料反可增加結構強度進而增強硬度；關數據龐大課程不只介紹基本原理，亦介紹查詢資料方法。

### (十)高分子材料

此為材料科學進階課程，主要講授高分子材料特性、結構、反應原理、加工等範疇，高分子結構具有共價鍵串聯分子結構遠高於一般化合物特點，依照其偏向線性結構、網狀結構、立體結構直接反映在材料強度上，如熱塑性等低熔點材料多為線性、網狀結構；熱固性或彈性材料則多為立體結構，依照聚合方式又可區分逐步與連鎖反應，並且可透過催化劑、濃度控制、溫度控制等進而控制反應速率、分子大小、產量等，且透過技術手冊或實驗文獻等相關參數歸納總結，使得產物機械性質具預測性，透過課堂上學習到的實驗結合公式原理，瞭解工業製程進而設計合適加工成型方式。

### (十一) 軟材力學

為進階機械課程，教授固態機械性質中的非線性與混合黏性彈性範疇，相較於理想剛體之線性機械性質，真實世界常見材料多為黏性且非線性之



應力-應變關係，應用前揭連體力學、彈性力學等基礎知識，推導適用於描述非線性關係的動量/動能守恆平衡式，結合虎克定律進而導出應變能量函式概念，此領域對於真實世界材料建立的理論模型最近可追溯至 1996 年 Gent Model，惟尚無完美描述真實世界材料之模型，課程結合實驗室與 MatLab 軟體模擬，讓學生更易瞭解工程應力、真實應力等差異與實際工程設計時可容許的誤差。

#### 四、研究內容

##### (一) 導論

隨現代科技演變，各國針對作戰已朝向小規模、高科技、高技術方面發展，對於軍隊使用武器方面，仍以高爆或動能武器為大宗，惟針對武器導引、無人化自動控制顯得尤為重要；在涉及自動控制領域中，電控雖非唯一方法，然電控技術高度發展，微控制器(Microcontroller unit, MCU)其低消耗、小體積、高度功能整合等特性，已成為各先進國家智能科技主流。

考量現今作戰趨勢國內武器裝備在傳統領域上與高科技國家互有優勢，在不對稱作戰之發想下，以固守國土防衛作戰為主軸，對於武器彈藥資源使用、敵情蒐整方面為發展核心，提前預警敵方位置、人數，精準投彈及控制消耗資源才能在短期作戰達到嚇阻、長期作戰滿足後勤需求。在此一背景下，結合國軍現有偵蒐、反制武器系統，建構自動化、無人化等流程，朝小規模掌握敵情、精準輸出火力方式執行，以微控制器接收感測器(Sensor)蒐整後，由編程回饋相關資訊繼以自動操作致動器(Actuator)，依即時狀態以 PID 自動控制方式設計閉迴路(Closed loop)持續反饋，根據相關目標精準分配武器彈藥資源。



研究過程中循序漸進，先完成教授指定之基礎問題，在針對自身希望研究發展方向訂定主題，經過與教授討論後，職先以預警系統實作、變頻系統實作，最後整合相關實作經驗，於想定狀況下展示研究成果，相關電路元件部分，採用與實際想定目標功能相近之商規品演示控制功能，編程使用語言採 C 語言增加後續識讀及編輯方便。

## (二) 整合設計

### 1、中樞控制

職的研究使用微控制器為 Arduino Uno，使用處理器(Central processing unit)為標準版 ATmega328 具備 1600 萬赫茲運算能力，輸出入(Input/ Output)部分，具 6 個類比輸入、14 個數位輸入及 6 個數位輸出，數位方式採脈衝寬度調變(Pulse-width modulation, PWM)方法，記憶體部分具備 32KB 之快閃記憶體作為編程。

以微控器而言，其記憶體約可儲存 300-500 列單一功能程式(含引用函式庫)，已足夠針對各基礎元件功能整合，另其基礎功能及腳位相對完整，類比輸入部分適用可變電阻、滑鼠、溫度計、無線電等元件，數位輸入部分適用各式開關、鍵盤或須邏輯判斷之元件，輸出部分以數位為主，訊號最大 5V、精度(Resolution)為 1/256，以現今常用電子元件為例，變頻冷氣配賦啟動開關、各模式切換及環境溫度偵測等輸入，輸出部分則由壓縮機模組搭配放大電路，針對常見電子器材，此一數量之輸出入已相當充足，研究使用微控制器具體腳位輸入出如下



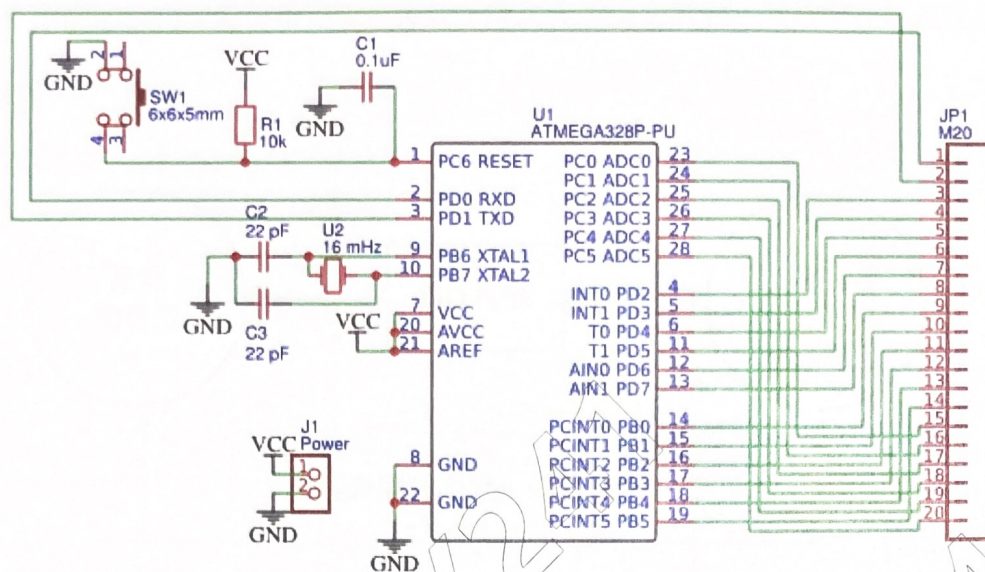


圖 3-ATmega328 腳位圖

## 2、信號輸出入

選定中樞控制器後，藉由感測器收集環境、目標信號，量測信號經程式編撰轉換電子信號為可識別之數據，再將相關數據設計流程執行致動器信號輸出，輸出信號由馬達等元件接收，同理藉由程式編撰定義輸出裝置，由馬達接收 0-5V 信號輸出，再藉外加電源之 BJT、MOSFET 等放大電路驅動等比信號，以實現相關控制效果，如車用雷達或超音波元件測定障礙物距離，控制蜂鳴器輸出警示音大小、頻率即是類似應用。

前述程式定義處理信號部分，因物理環境想定具非線性或非固定函數模型之限制，研究方向將採 PID 控制方式設計，此控制方法係針對非固定函數接收信號再依不同條件調整輸出之重要方法，對於真實世界各式條件如溫度、距離、壓力、濃度等非固定變化因素，一體適用之控制手段，惟因設計輸出部分係依照輸入信號變化而定，將產生信號傳輸延遲誤差及輸出作用於目標具體時間上延遲等，固

參數調適及物理量分析等工作係此一應用先天上之限制，其相關控制流程概要簡述如下所示

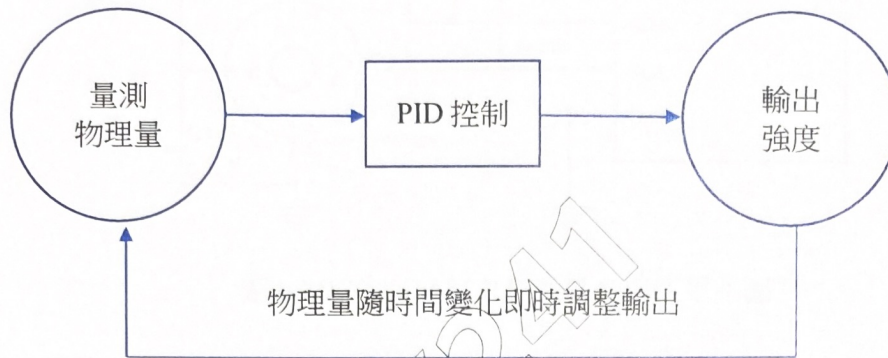


圖 4-閉迴路流程圖

有關研究使用感測裝置部分，因目標係蒐整人員資訊，需要使用到之物理量將設定為人體溫度及相對距離，根據相關需求選用 HC-SR04 超音波模組量測相對距離、MLX90614 紅外線熱感知模組測定環境溫度及人體溫度，使設計元件感知目標後，經由程序判定目標可能性，提供作戰人員相關建議，藉以實現精準用彈效果，另感測器相關電路如下

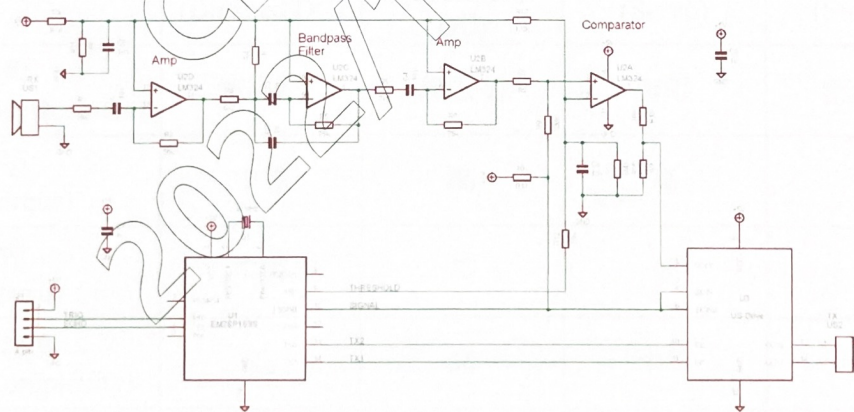


圖 5-HC-SR04 超音波模組電路圖



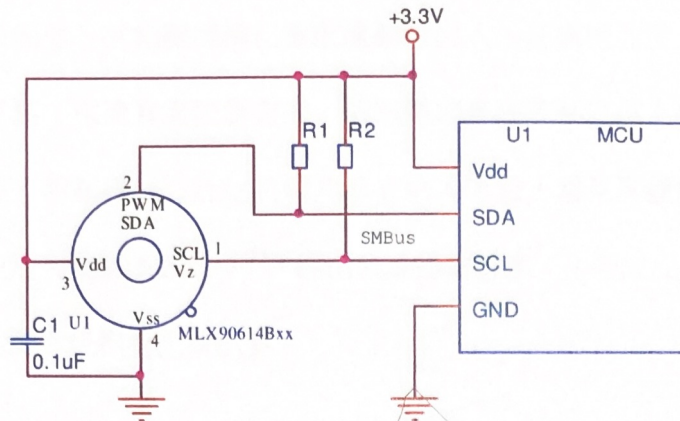


圖 6-MLX90614 紅外線熱感知模組電路圖

### 3、輸出控制

輸出控制採用馬達、水泵演示輸出效果，馬達為致動元件之一種且區分為四種類型，分別為有刷直流、無刷直流、伺服及步進，因伺服馬達高扭矩及編程控制相對容易，故以 2 顆伺服馬達作為移動使用、1 顆伺服馬達控制迴旋角，如考量轉速等特性，則依實況選用其他類型馬達，相關比較如下表所示

表 2-各類馬達比較表

	有刷直流 (Brushed DC)	無刷直流 (Brushless DC)	伺服 (Servo)	步進 (Stepper)
最大轉角 (Max Displacement)	無限制	無限制	有限	無限制
最大扭矩 (Max Torque)	中等	高	高	高
最大轉速 (Max Speed)	中等	高	低	低
驅動複雜度 (Drive Complexity)	低	高	中等	中等
應用場景 (Application)	引擎發動器	動力鑽頭	機械手臂	3D 列印

前述水泵部分，其相關機構已適配流體輸出入，在機械強度上著重轉速帶動水流，可依電壓、電流直流控制方式，依照需求直接控制流速；另伺服馬達已內建減速機構等，相關機械設計已將轉角換算納入考量，常見馬達規格檢討需求主要係轉速、扭矩，其關係式如下<sup>(1)</sup>，經由公式得知轉速、扭矩成反比關係，只能由功率輸出提高二者或相對比重調整。

$$\tau \times \omega = I \times V \times E \quad (1)$$

### (三) 研究方法

#### 1、編程架構

Arduino 編程以 C 語言為語法基礎，編寫架構分別區分為三大區塊，第一區塊為全局變數宣告及副程式、第二區塊為基礎設定及腳位定義、第三區塊為重複執行之主程式，其中第二區塊僅開始時運行一次，後續將反覆運行第三區塊主程式，達成循環控制效果。

#### 2、超音波模組使用

超音波模組工作原理是利用超音波發射(Transmitter)及接收器(Receiver)及其內建 8 位元 EM78P153 處理單元對信號處理後回傳時間差逕行資訊研析，由發射器發送超音波信號碰撞物體後反射信號，由接收器濾波接收同頻訊號，處理後之資訊以微秒(Microsecond)為單位，依聲波於空氣中傳遞速率<sup>(2)</sup>可換算目標物距離、速度等資訊，另藉由多個模組可初步判定目標面，因研究於室內環境，相關計算以聲速與氣溫經驗式<sup>(3)</sup>表達。

$$C = \sqrt{\gamma RT} \quad (2)$$



$$C = 331.6 + 0.6T \quad (3)$$

依照模組規格，工作電壓 5V、工作電流 15mA、最大測距 400cm 及最小測距 2cm，經過示波器確認訊號後，可撰寫相關副程式獲取距離資訊，另因原始訊號為時間參數，經換算後以公分表達相對位置。

### 3、紅外線熱感知模組使用

熱感知模組係藉接收物體散發之輻射熱轉換為訊號，達成遠程量測溫度之功能，另 MLX90614 模組亦具備傳感器量測環境溫度，遠距量測角 5°、最大量測距離約 100 公分、量測精度最高達 0.02°C、遠距量測溫度範圍介於-70 至 380°C、環境溫度量測範圍介於-40 至 85°C，其輸出訊號以絕對溫度為單位，相關函式處理後可獲取常用攝氏、華式溫度。

### 4、致動器使用

伺服馬達作為致動器通常使用於精確角度、較高扭矩情形控制，其中作為轉向砲塔輸入訊號為角度，使用 MG996R 伺服馬達可執行 360°轉角，輸入為-180°至 180°<sup>(6)</sup>，另作為移動轉輪則輸入脈衝持續時間，依硬體設定輸入 2000 微秒為完全正轉、1000 微秒為完全反轉、1500 微秒則應停止，因伺服馬達為常用致動器，可直接引入函式庫功能，編程時更簡潔易懂。

## (四) 實作方法

### 1、預警系統實作

實作使用超音波模組感知周邊物體，如目標進入預警範圍則啟動警報器，警報器啟用期間須輸入特定密碼才能解除，此項實作主要係執行 Arduino 重要功能中斷服務程序(Interrupt service routine, ISR)，藉此實現例外情境或強制跳出執行迴



圈功能，另電子開關產生雜訊亦會干擾重要訊號，針對行為執行長度，設定延遲輸入時間可達過濾頻繁脈衝雜訊，最後以前揭超音波模組副程式設定預警條件值，則可以實現範圍內警報，並以 ISR 程序跳脫迴圈輸入設定密碼後，解除警報。

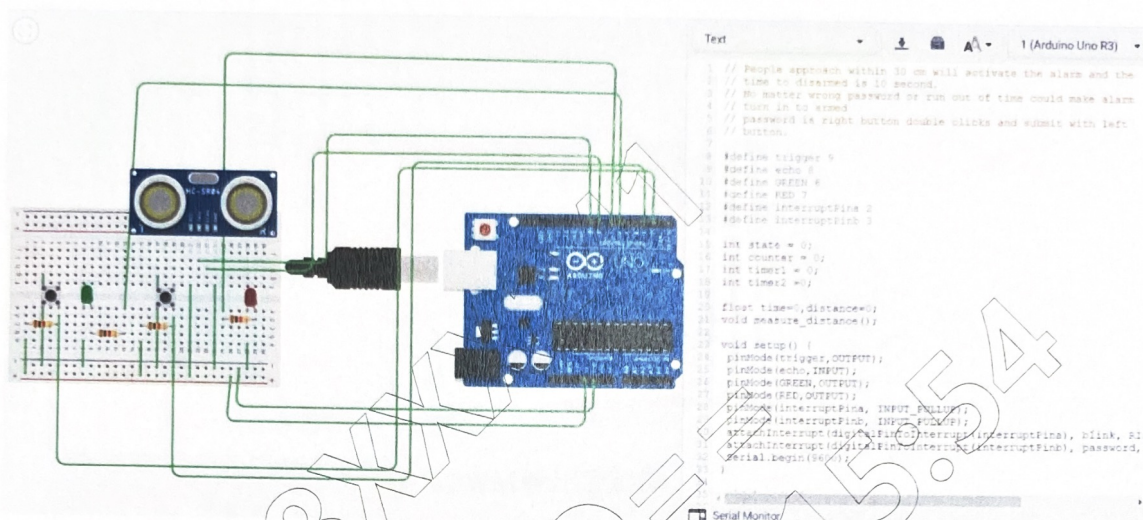


圖 7-預警系統電路圖

## 2、變頻系統實作

實作使用紅外線熱感知模組、馬達致動器、PWM 調變方法及 PID 控制原則執行，主要想定目標為 80°C 熱源，以即時回授之 PID 控制方式，精準控制馬達風扇降低目標溫度，實現變頻之效果。

PWM 調變須以 Arduino 微控制器提供數位 PWM 腳位作為輸出，基於微控制器精度為 0-255，可調變範圍亦為 0-255，其原理乃利用週期訊號特性，藉控制輸出脈衝  $V_s$  時間達到調變效果，由調變公式<sup>(4)</sup>換算有效電壓  $V_e$ ，相較於類比輸出須採分壓電路更具高度控制性。



$$\bar{y} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \stackrel{\text{def}}{=} \bar{y} = D \times y_{\max} \quad (4)$$

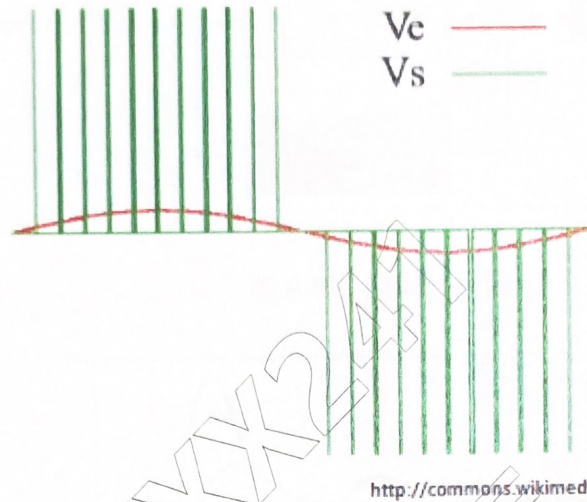


圖 8-PWM 輸出波形圖

PID 控制為三種參數控制，分別為比例 (Proportional) 控制、積分控制 (Integral)、微分 (Derivative) 控制，一般輸出採比例控制，P 控制器<sup>(5)</sup>對於整體系統而言通常會產生誤差 (Offset)，相關誤差通常以週期震盪方式出現，因其輸出比例為一定值，加入 PI 控制器<sup>(6)</sup>則可針對累積穩態誤差回饋控制量，另針對需要快速響應系統加入 PID 控制器<sup>(7)</sup>則可改善暫態行為，但是不利於控制穩態誤差，實務上應依系統特性及最終需求選用合適控制方式。

$$u(t) = K_p e(t) \quad (5)$$

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (6)$$

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (7)$$

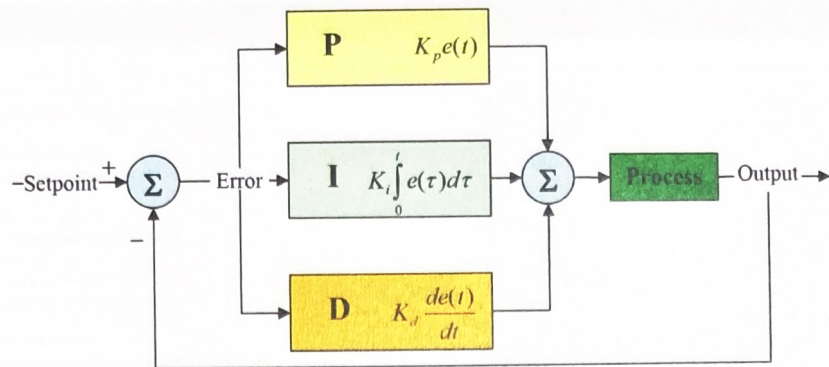


圖 9-PID 控制流程圖

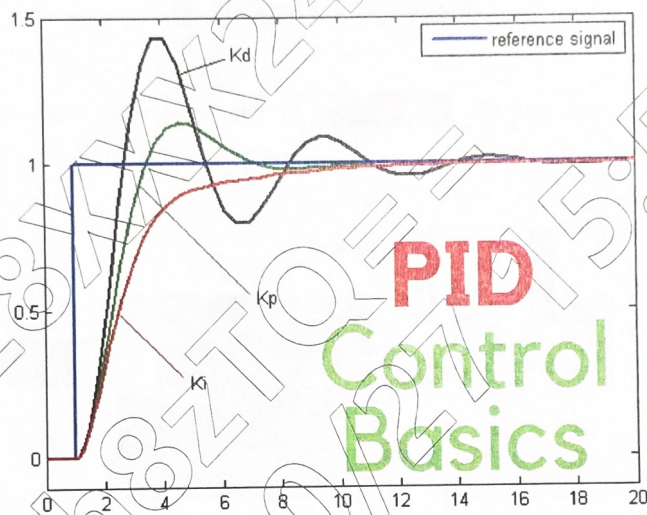


圖 10-PID 控制波形圖

為實現變頻控制效果，實作想定目標為一非線性升溫之目標，以紅外線熱感知模組測定當前誤差，控制馬達風扇使目標溫度降低至設定值，其中馬達供電由雙極性電晶體(Bipolar junction transistor, BJT)控制電流，PWM 訊號源串聯於基極以滿足馬達工作電壓及變頻功能，相關控制編程如下



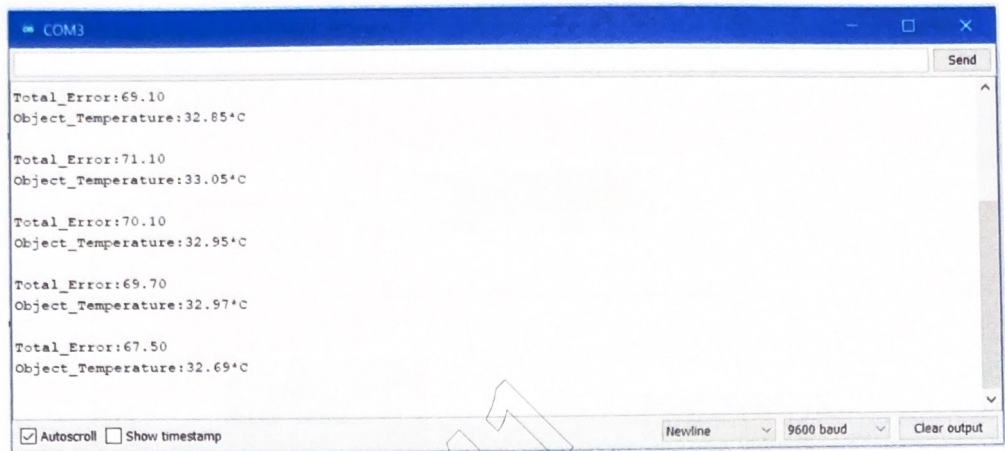


圖 11-變頻系統數據回饋

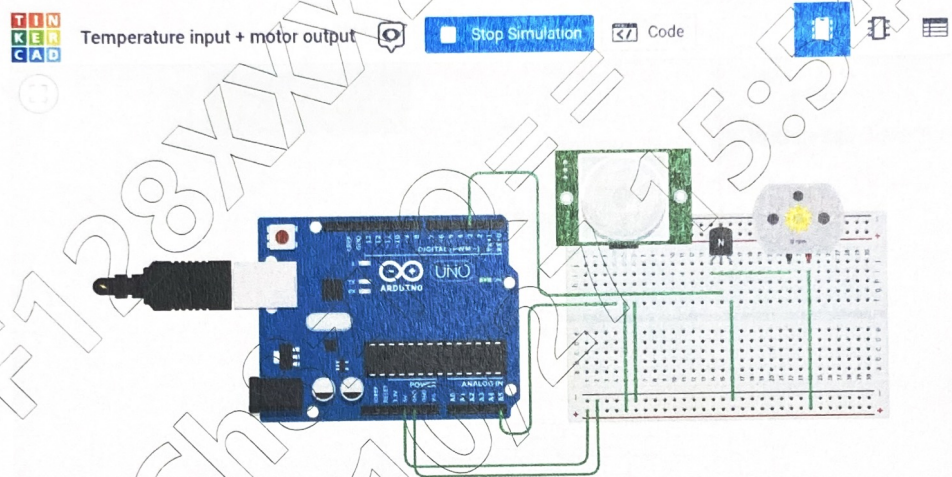


圖 12-變頻系統電路圖

### (五) 研究成果

職研究結合前揭系統實作，基於本廠火炮系統發展趨勢，依相似功能元件設計想定場景，目標物設定為敵方人員或載具，以超音波模組及紅外線熱感知模組測定目標，基於自走車控制砲塔轉向，並以發射水柱降低目標物溫度模擬動態消

滅敵方人員時，射速及配彈量控制；研究成果以電控元件及編程為主，相關流程圖、電路圖、測試情形如下

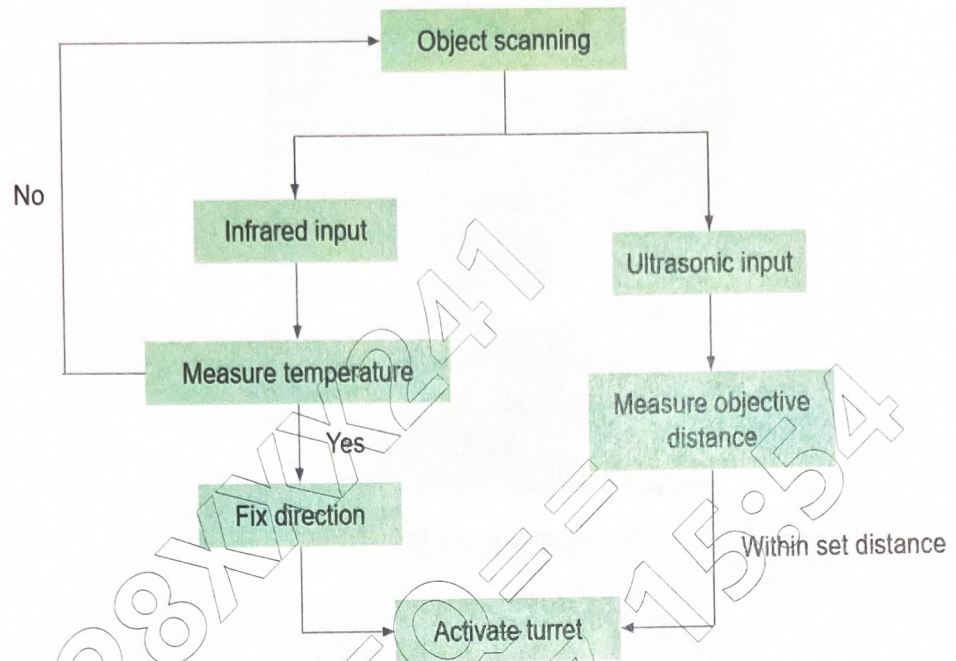


圖 13-研究成果流程圖

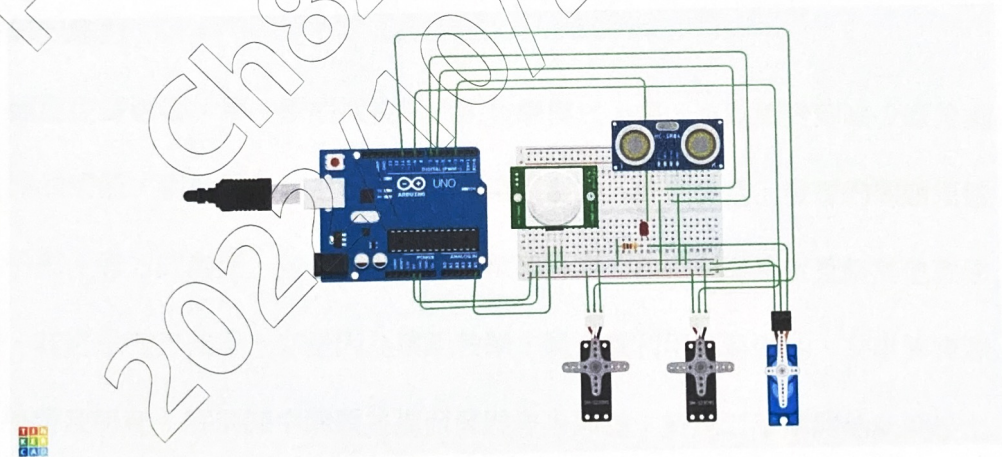


圖 14-研究成果電路圖





圖 15-研究測試

## 參、心得與建議

### 一、自主研究能力

因應疫情影響，第一學期採視訊遠距教學模式上課，可以感受到缺少課後詢問教授的環節，對於學生自主能力為一項重大考驗，許多課堂上發想的問題須透過電子郵件等方式詢問，並且許多回答非標準答案，而是引導學生蒐整其他教學資源、其它思考方向等。亦是因為遠距教學，職大量利用網路影片、文獻等資源深入學習及研究，解決課中問題並進而發展自身興趣；於第二學期開始能到校上課後，與同學間交流及團隊合作，更了解到合作不僅是多人作業亦是自主管理能力的展現，與組員研討可以交流不同的作業工具及快速找到自身盲點，同時亦因為有組員的緣故，可觀察到其他組經常出現多人同組一人做事的狀況，小組合作



的目的應是促進多元文化、多元專業背景之交流，然也應警醒自身時刻跟上組員的腳步，不應荒廢自我成長的機會。

## 二、本廠未來發展

職本次送訓為培養本廠技術軍官之一環，應汲取美國發展相關經驗，針對本廠使命生產 40 公厘口徑以上之火砲彈藥及國軍防化裝備等，經過實地考察與當地學生交流後，可以體會到國內傳統兵工水準絲毫不遜色於世界各國，仰賴許多先進學長的努力，本國火砲彈藥均可滿足作戰單位需求，職於求學期間學習補足許多原先不甚了解的機械基礎知識，並以自動化研究精進本職學能，後續擬依在學期間所見所聞為廠內機電整合產品提出貢獻。

## 三、深化語文能力

作為國際學生求學，英語為學生最基本之能力，經檢討世界強勢語言仍以英語為主，對比其他語言擁有數倍至百倍的文獻及影片等相關資源，有賴本國國民義務教育之成功，現今絕大多數人都具備相當程度的語言能力，職自認求學前語文能力普通，係利用課後機會努力與美國籍學生進行交流，才強化語言能力跟上課堂進度，在國外學習對於語文能力提升非常迅速，非常鼓勵廣大天份較佳的技術軍官爭取出國機會，以持衡提升本國兵工專業素養。

## 四、研究內容應用

職本次出國見學相關機械性質理論及自動控制應用，針對研究內容部分，因應本廠於國軍組織架構內所負責任務，將以控制系統中所學相關編程概念，及 PID 控制方法針對可程式自動化火砲武器檢討相關參數調適，尤以響應時間需求較短方面之武器，諸如迴旋、俯仰機構或接收外界資訊自動調整之定位機構等，



因其作戰想定需求可能須以一定時間內完成動作，對於微分控制上固然可以減少響應時間惟必定增加誤差，針對相關機構作動等為本廠核心技術之一，後續應於容許誤差範圍內對於自動化設計調適部分加強設計；另針對現有裝備可立即應用部分，本廠責任產品 DH320B 型轉輪除濕機仍採定頻設計，且該除濕裝備已於全軍廣泛部署，因職於國外研究變頻系統實作，有關溫濕度控制部分已具相關設計經驗，針對現行裝備性能，前揭除濕機具備控制濕度範圍 55~70%RH、使用功率每小時 2.5kW，經檢討透過自動控制改良相關運轉功率，預期可減少非必要耗電並提升濕度控制敏感度，增進現有產品性能。

## 肆、參考資料

- 1、<http://www.arduino.cc/>
- 2、<https://www.tinkercad.com/>
- 3、“The Speed of Sound” [mathpages.com](http://mathpages.com).
- 4、HC-SR04 Datasheet ([electroschematics.com](http://electroschematics.com))
- 5、MLX90614 Datasheet, Revision 13, 13 September 2019
- 6、Araki, M. (2009). "CONTROL SYSTEMS, ROBOTICS AND AUTOMATION – Volume VII - PID Control"
- 7、戴頓大學，<https://udayton.edu>

## 伍、附件

- 1、超音波模組

```
void measure_distance(){
    digitalWrite(trigger,LOW);
    delayMicroseconds(2);
```

```

digitalWrite(trigger,HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigger,LOW);
delayMicroseconds(2);
time = pulseIn(echo,HIGH);
distance = time*340/20000;
}

```

## 2、熱感知模組

```

uint16_t Adafruit_MLX90614::read16(uint8_t a)
{
    uint8_t buffer[3];
    buffer[0] = a;
    bool status = i2c_dev->write_then_read(buffer, 1, buffer, 3);
    if (!status)
        return 0;
    return uint16_t(buffer[0]) | (uint16_t(buffer[1]) << 8);
}

float Adafruit_MLX90614::readTemp(uint8_t reg)
{
    float temp;
    temp = read16(reg);
    if (temp == 0)
        return NAN;
    temp *= .02;
    temp -= 273.15;
    return temp;
}

```

## 3、伺服馬達旋轉

```

#include <Servo.h>
Servo servo_turret;
for(deg = -180; pos <= 180; pos += 1)
{
    servo_turret(pos);
    delay(10);
}

```

## 4、伺服馬達前進

```

#include <Servo.h>
Servo servo_left;
Servo servo_right;
Void forward()
{
    servo_left.writeMicroseconds(1550);
    servo_right.writeMicroseconds(1450);
    delay(50);
}

```



```

}
5、PID 控制
#include<Adafruit_MLX90614.h>
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
int motor = 3;
double kp = 10;
double ki = 0.0003;
double error;
double ki_time=0,ki_time_pre=0, acc_error=0;
double input, output, setpoint=26;
void setup(){
    pinMode(motor, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
    while (!Serial);
    if (!mlx.begin()) {
        Serial.println("Error connecting to MLX sensor. Check wiring.");
        while (1);
    };
}
6、溫度讀取
void loop(){
    input = mlx.readObjectTempC();
    error = input - setpoint;
    ki_time = millis();
    acc_error = ki*(ki_time-ki_time_pre);
    output = kp*error + acc_error;
    if(output>255){
        output = 255;
    }
    else if(output<0){
        output = 0;
    }
    ki_time_pre = ki_time;

    digitalWrite(motor, output);
    Serial.print("Total Error:");
    Serial.println(output);
    Serial.print("Object Temperature:");
    Serial.print(mlx.readObjectTempC());
    Serial.println("°C");
    Serial.println();
    delay(2000);
}
7、研究成果整合
#include<VarSpeedServo.h>
#include <Servo.h>

```

```

#include <Adafruit_MLX90614.h>
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
VarSpeedServo servoLeft;
VarSpeedServo servoRight;
Servo servoTurret;
int trigger = 6;
int echo = 7;
int L_Servo = 9;
int R_Servo = 11;
int T_Servo = 10;
double kp = 10;
double ki = 0.001;
double error;
double ki_time=0,ki_time_pre=0, acc_error=0;
double input, output, setpoint=20;
int pump = 3;
float distance = 0;
float t = 0;
float temperature = 0;
void setup() {
    pinMode(trigger, OUTPUT);
    pinMode(echo, INPUT);
    servoLeft.attach(L_Servo);
    servoRight.attach(R_Servo);
    servoTurret.attach(T_Servo);
    pinMode(pump, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
    while (!Serial);
    if(!mlx.begin()) {
        Serial.println("Error connecting to MLX sensor. Check wiring.");
        while (1);
    };
}

void loop() {
    measure_distance();
    temp_control();
    if(temperature > 40 && distance < 10 && distance > 5){
        digitalWrite(pump, output);
        servoLeft.writeMicroseconds(1500);
        servoRight.writeMicroseconds(1500);
        delay(50);
    }
    else if(temperature < 40 && distance < 10 && distance > 5){
        digitalWrite(pump, output);
        servoLeft.writeMicroseconds(1500);
    }
}

```



```

        servoRight.writeMicroseconds(1500);
        delay(50);
    }
    else if(distance > 10){
        servoLeft.writeMicroseconds(1600);
        servoRight.writeMicroseconds(1600);
    }
    else if(distance < 5) {
        servoLeft.writeMicroseconds(1550);
        servoRight.writeMicroseconds(1450);
        delay(50);
    }
}
void measure_distance() {
    digitalWrite(trigger,LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigger,HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigger,LOW);
    delayMicroseconds(2);
    t = pulseIn(echo,HIGH);
    distance=t*340/20000;
}
void temp_control(){
    input = mlx.readObjectTempC();
    error = input - setpoint;
    ki_time = millis();
    acc_error = ki*(ki_time-ki_time_pre);
    output = kp*error + acc_error;
    if(output>255){
        output = 255;
    }
    else if(output<0){
        output = 0;
    }
    ki_time_pre = ki_time;
}
}

```