

臺北市立大安高級工業職業學校專題製作競賽  
「專題組」作品說明書



群別：電機與電子群

作品名稱：Precursor Initiative 先驅者計畫

關鍵詞：六足機器人、逆運動學、多地形適應

# 目錄

壹、摘要.....	1
參、主題與課程之相關性或教學單元之說明.....	2
一、硬體製作.....	2
二、電路雕刻.....	2
三、程式撰寫.....	3
四、數學運算.....	3
肆、研究方法.....	4
一、研究流程.....	4
(一)、研究步驟.....	4
(二)、操作步驟.....	5
二、使用材料及工具.....	7
(一)、零件介紹.....	7
(二)、軟體介紹.....	12
(三)、機構原理.....	15
伍、研究結果.....	17
一、主體結構.....	17
(一)、六足部分.....	17
(二)、底板部分.....	17
(三)、貨架部分.....	17
(四)、外殼部分.....	18
二、控制箱.....	18
(一)、控制箱上層.....	18
(二)、控制箱下層.....	19
三、軟體結構.....	19
(一)、判斷足部末端點是否碰觸地板.....	19
(二)、動作分解.....	20
四、成果展示.....	20
陸、討論.....	22
一、硬體結構.....	22
二、軟體撰寫.....	22
三、電源與電路.....	22
四、提升穩定度.....	22
柒、結論.....	23
捌、參考資料及其他.....	24

## 圖目錄

圖 1 Seam 短片劇照及六足機器人實體.....	1
圖 2 繪製 3D 模型.....	2
圖 3 電路板 2D 及 3D 模型.....	2
圖 4 程式撰寫及藍芽模組.....	3
圖 5 課程中的三角函數與實際運用.....	3
圖 6 研究步驟.....	4
圖 7 手機控制介面流程圖.....	5
圖 8 控制箱流程圖.....	5
圖 9 機器人接收流程圖.....	6
圖 10 機器人動作流程圖.....	7
圖 11 機器人執行前後左右流程圖.....	7
圖 12 MG996R.....	8
圖 13 HC-05.....	8
圖 14 HC-12.....	9
圖 15 2 路繼電器.....	9
圖 16 21700 鋰電池.....	9
圖 17 XL4005.....	10
圖 18 微動開關.....	10
圖 19 DHT11.....	11
圖 20 SDLaser303 雷射筆.....	11
圖 21 Arduino Mega 2560.....	11
圖 22 MD81S 網路 P2P 遠程攝影機.....	12
圖 23 Arduino 程式撰寫畫面.....	12
圖 24 Onshape 操作介面.....	13
圖 25 電路板設計介面.....	13
圖 26 電路板成品.....	13
圖 27 Android Studio 操作介面.....	14
圖 28 Adobe XD logo.....	14
圖 29 一足之側視圖.....	15
圖 30 一足之正視圖.....	16
圖 31 逆運動學公式.....	16
圖 32 六足機構(左)與底板構造(右).....	17
圖 33 貨架構造(左)與主體外殼(右).....	18
圖 34 控制箱上層(左)與控制箱下層(右).....	18
圖 35 控制開關.....	19
圖 36 主體成品展示.....	21

圖 37 控制箱成品及使用者介面..... 21

## 表目錄

表 1	時間分配表 .....	4
表 2	MG996R 規格.....	8
表 3	HC-05 規格 .....	8
表 4	HC-12 規格 .....	9
表 5	2 路繼電器之規格 .....	9
表 6	21700 鋰電池之規格.....	9
表 7	XL4005DC-DC 可調降壓模組 .....	10
表 8	DHT11 溫溼度感測模組.....	11
表 9	Arduino Mega 2560 開發板 .....	11

## 【Precursor Initiative 先驅者計畫】

### 壹、摘要

好奇心自古至今從未停止過。人們研發了各種發明來滿足好奇心。隨著科技飛快發展、倫理道德的興起，人類親入未知領域探索愈是顯得太過危險。除了知識，探索的安全性也相當重要。因此本專題希望能創立一台能遠距離操控與即時影像傳遞、感測環境的六足機器人。以代替人類進行探勘。

我們將手機與控制箱裡的 HC-05 藍牙模組連線，再由控制箱內的 HC-12 無線電通信模組傳送訊號至六足機器人機體(以下簡稱:主體)上的 HC-12，再由 ArduinoMega2560 收取 HC-12 信號，控制主體移動，以達成遠距遙控。手機所傳指令經由逆運動學公式轉換角度，使伺服馬達旋轉至對應的角度，以完成所要求的動作。

### 貳、研究動機

人類初次探索環境的時候只能小範圍的搜索，收集少量的物資帶回村落，過程中可能遇到各種困境，使自身陷入危險，既不安全，效率也不高。

我們廣泛蒐集資料，尋找合適探勘的機器人。多方嘗試後決定選用六足的樣式，並模仿科幻短片 Seam 的機台外觀設計(如圖 1 左)。我們上網研究其動作原理，發現六足機器人(如圖 1 右)能運用各種步態，在每次的移動皆能達成三足鼎立的型態，重心相較於其他多足機器人更為穩定。此外控制程式的撰寫能發揮其協調性，令其得以適應各種的地形，達成全地形探勘的功能。

我們希望透過這次專題，應用在校所學之 3D 建模及列印、程式設計以及軟硬體之結合，製成一輕量化、操作方便，可感測環境及錄影的六足機器人，讓使用者能遠距離遙控，以提升探索的效率並保障人身安全。



圖 1 Seam 短片劇照及六足機器人實體

## 參、主題與課程之相關性或教學單元之說明

### 一、硬體製作

高三的專題課程教導我們使用雷射切割機與 3D 列印機，讓我們能將科幻的想像化為實體。考慮主體需要在機械強度與輕量化之間取得平衡，我們使用 ABS 線材(以低密度印製)以及 PLA 線材(以高密度印製)。我們的 3D 建模軟體 Onshape 能輸出 3D(STL)和 2D(DXF)檔案，搭配兩種製程令我們能完全依照設計模型製造(如圖 2)。

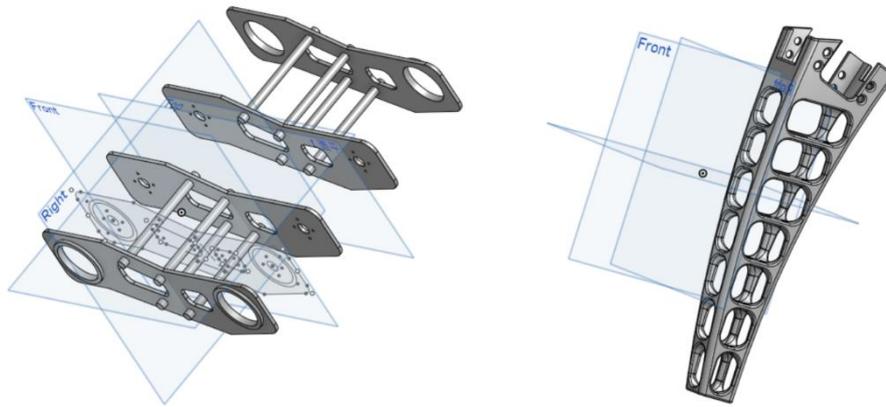


圖 2 繪製 3D 模型

### 二、電路雕刻

在高一所學的麵包板接線，雖然可以讓我們了解零件間連接及動作原理，但是相比於使用 Altium Designer 來的繁雜。這款軟體只需繪製、放置零件、自動佈線等幾個步驟，即可匯出至電路板雕刻機進行雕刻(如圖 3)。可以快速且方便的完成所需電路。所需體積、重量都比麵包版來的更小、更輕(如圖 3)。

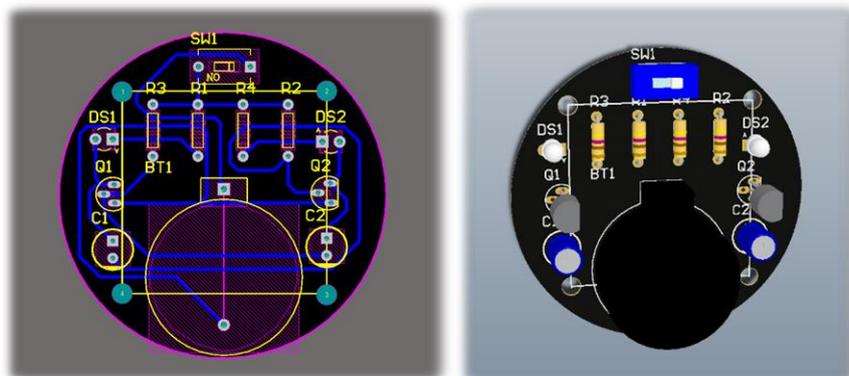


圖 3 電路板 2D 及 3D 模型

### 三、程式撰寫

在高三的實習課中，對於 Arduino 及其所使用的 C 語言有了粗略的認知。本次專題中我們以此為基礎進行程式的撰寫，給予伺服馬達簡單的指令使其轉動至特定角度。此外，運用實習課中所學的藍牙模組 HC-05 及無線電通訊模組 HC12，在控制箱與主體間達成簡易的遠距資訊傳遞及接收(如圖 4)。



圖 4 程式撰寫及藍芽模組

### 四、數學運算

利用高一跟高三數學課時所學的三角函數(如圖 5 左)，搭配反三角函數，我們能以邊長與夾角的關係進行數學運算。推導出的公式在本專題中能計算各馬達所需轉動的角度，以及各段機體所需的高度、長度等，藉此我們能精準的控制每項動作，並使主體能適應各種地形(如圖 5 右)。

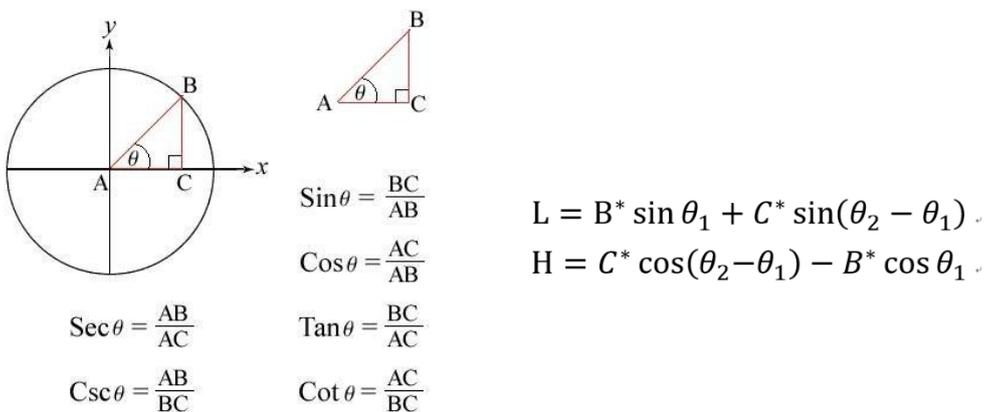


圖 5 課程中的三角函數與實際運用

## 肆、研究方法

### 一、研究流程

#### (一)、研究步驟

我們在 2019 年 12 月開始專題討論與實驗，2020 年 7 月確定六足設計並動工製作，程式開發及主體製造同步進行。六足完成後製作底盤，且開始設計電路，一併完成後製作控制箱及主體外殼，在製作硬體的過程中軟體不斷地更新、改進，最後完成軟硬體整合與最終測試。專題的時間分配及研究步驟分別如下表 1 及圖 6：

表 1 時間分配表

	6月及之前	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
1.購買材料								
2.蒐集資料								
3.六足製作								
4.程式設計								
5.底盤製作								
6.電路板製作								
7.主體外殼製作								
8.控制箱製作								
9.成品測試								

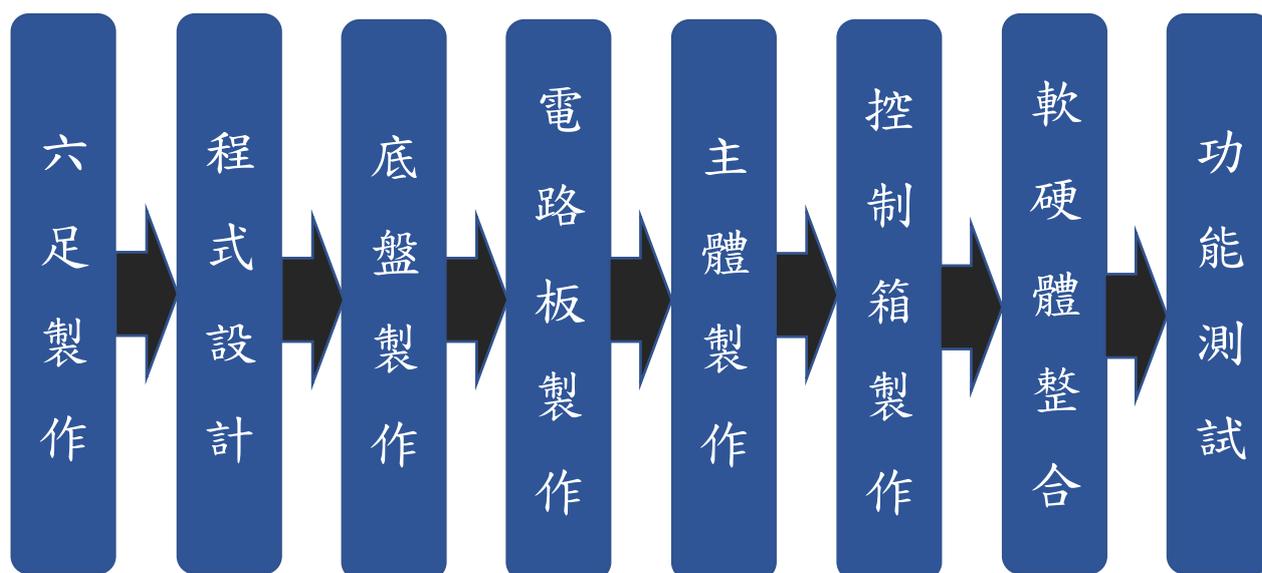


圖 6 研究步驟

## (二)、操作步驟

### 1、手機控制介面

本專題主體是由手機控制，於介面中按下按鈕發出指令，透過藍牙傳輸至控制箱中的藍牙模組 HC-05，其功能及傳送字元如下圖 7 所示：

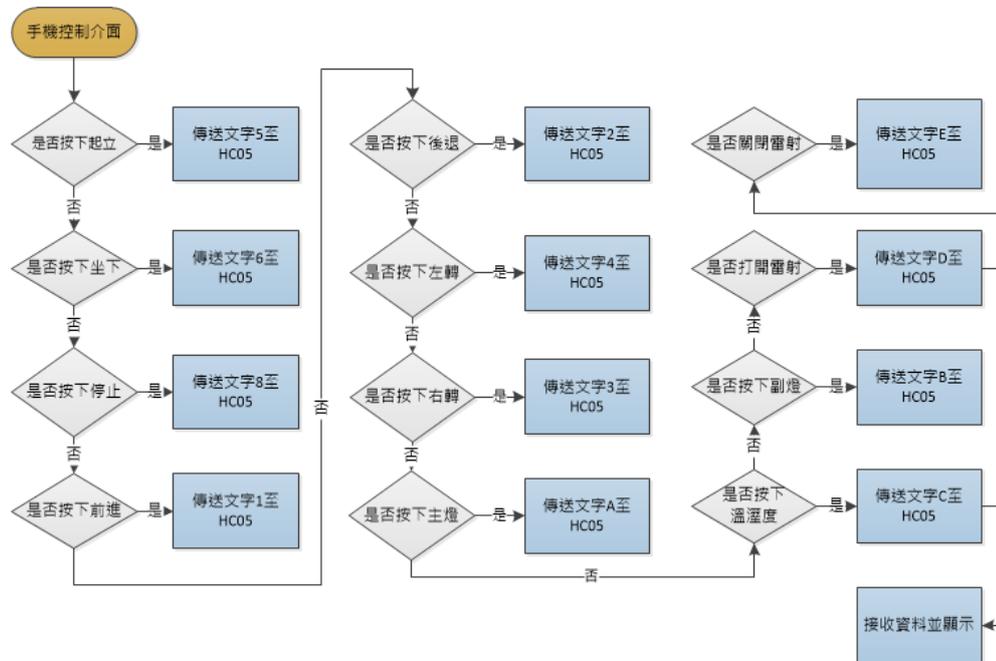


圖 7 手機控制介面流程圖

### 2、控制箱

控制箱中的 Arduino 板藉由藍牙模組 HC-05 從手機接收到指令後，將由無線電通訊模組 HC-12 發送指令至主體，可使遙控距離延伸至 1000 米，扮演著基地台的角色。由於主體上的嚇阻用雷射較危險，因此將先判斷是否按下箱中的保險，若已按下則確定傳送指令至主體，反之則否，其工作流程如下圖 8 所示：

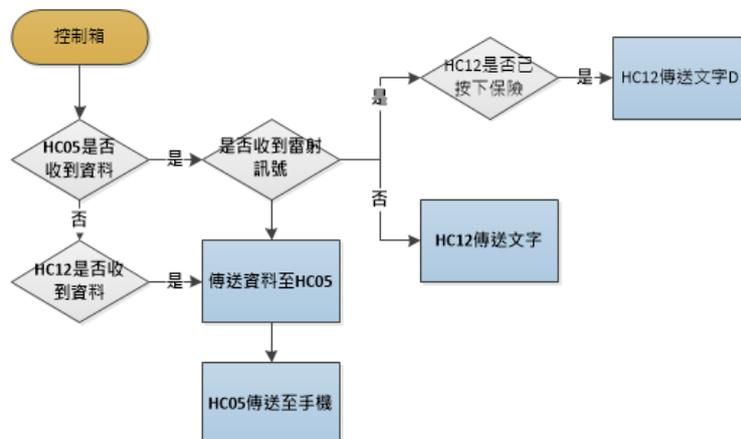


圖 8 控制箱流程圖

### 3、六足機器人

主體上的無線電通訊模組 HC-12 接收到控制箱發送的指令後，會交給主板 Arduino Mega2560，使主體做出相應的判斷及動作(如下圖 9)。主體之行進功能共有七種，分為:站立、坐下、前進、後退、左轉、右轉、停止。首先需令主體站立才可進行前後左右的移動控制。下令前後左右後，主體將會對六足之各角度進行校正，確保六足皆穩定碰觸地板後，再開始執行指令(如下圖 10)。行進中可按下停止鍵使其原地停止，或是直接按下另一動作鍵，主體將自動停止後進行校正，校正結束即執行新指令(如下圖 11)。

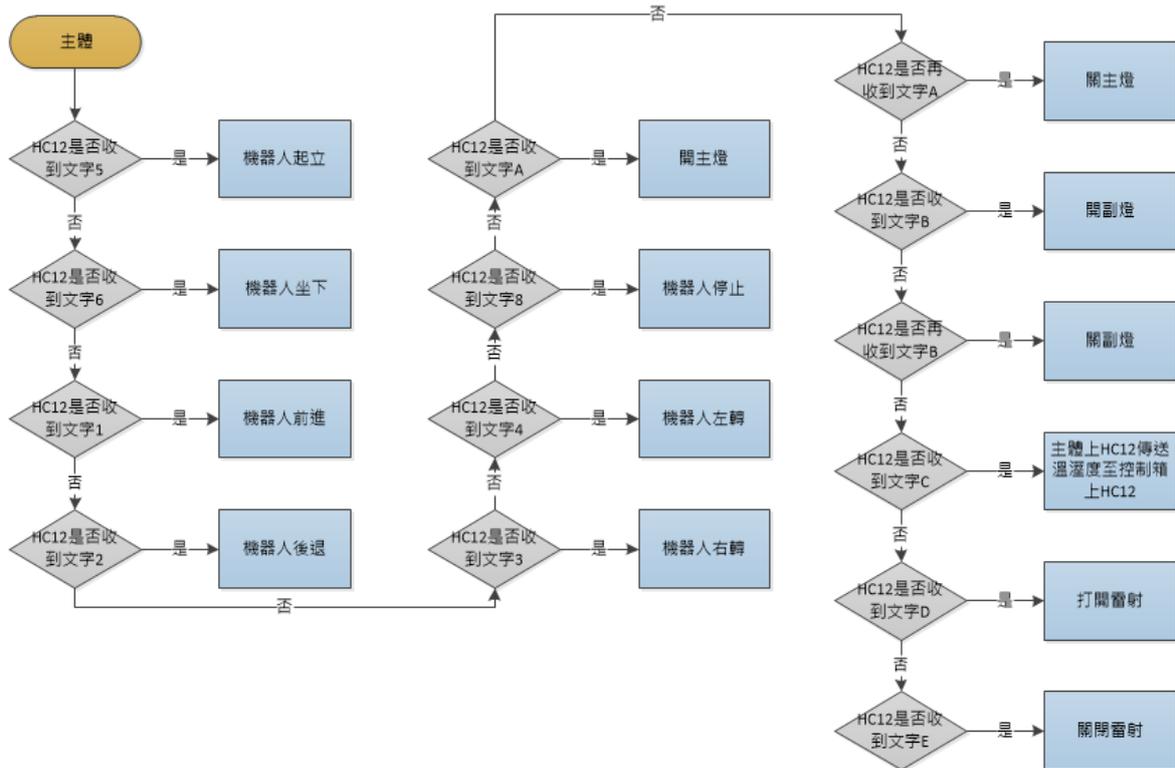


圖 9 機器人接收流程圖

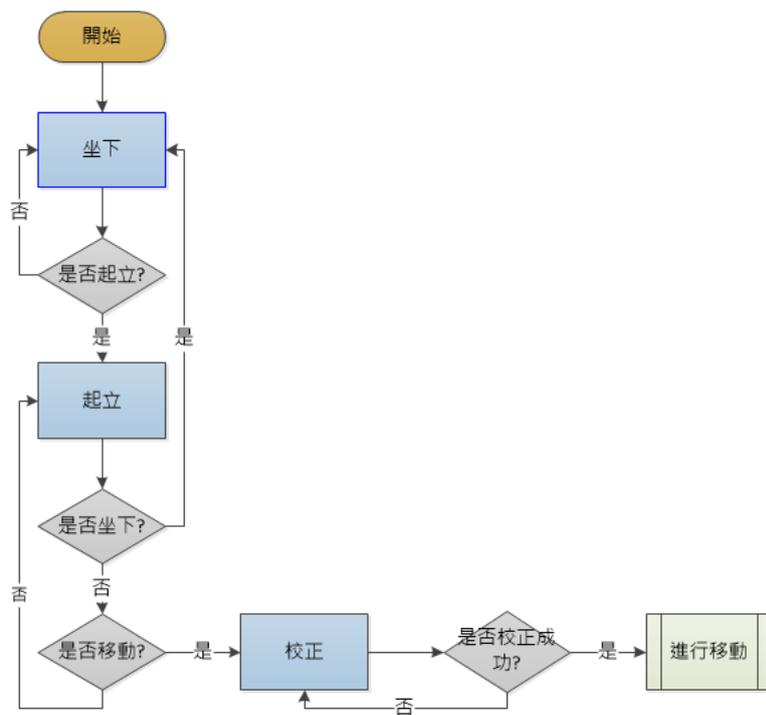


圖 10 機器人動作流程圖

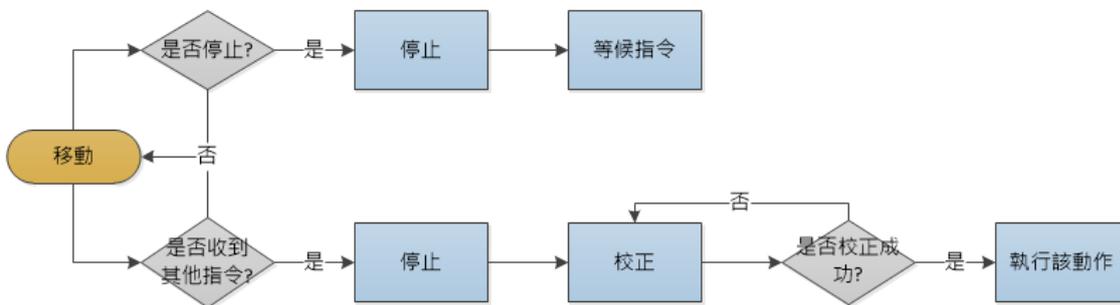


圖 11 機器人執行前後左右流程圖

## 二、使用材料及工具

### (一)、零件介紹

#### 1、伺服馬達(MG996R)

MG996R 伺服馬達(如圖 12)有 11kg/cm 的扭矩及 0 至 180 度的角度控制，內部由直流馬達、減速齒輪箱、可變電阻及控制晶片所組成。體積不大且重量尚可接受，能夠支撐整部機體及提供足夠轉矩，因此我們在各足每個關節上搭載 3 具 MG996R 伺服馬達，六足共 18 具。MG996R 之規格如下表 2：

表 2 MG996R 規格

產品尺寸	40.7×19.7×42.9mm
重量	55g
產品扭矩	9.4kg/cm(4.8V) ; 11kg/cm(6V)
轉動速度	0.17s/60°(4.8V) ; 0.14s/60°(6V)
工作電壓	4.8V~7.2V
工作電流	500mA~900mA
可控角度	0~180°



圖 12 MG996R

## 2、藍牙模組(HC-05)

HC-05(如圖 13)為主/從合一之藍牙模組，可與手機於 2.4GHz 的頻帶上進行串列傳輸，支援藍牙 2.1 規範且提供 10 米的通訊距離，由快閃記憶體及藍牙通訊晶片組成。體積小且方便使用，配合程式在手機與控制箱間傳輸與接收資料，在本專題中裝設於控制箱內，將資料送給控制箱中的 Arduino 板處理，扮演著傳輸仲介的重要角色。HC-05 之規格如下表 3:

表 3 HC-05 規格

產品尺寸	35.7×15.2mm
最大傳輸距離	10m
工作電壓	3.3V~6V
工作頻率	2.4GHz
串列傳輸速率	4800~1382400bps
接腳	KEY,VCC,GND, TXD,RXD,STATE
LED 燈號顯示	快閃: 等待連接 雙閃: 連接完成 慢閃: AT 模式



圖 13 HC-05

## 3、無線電通訊模組(HC-12)

在探勘、救災等行動中，操作者通常需要遠距離進行操控，因此我們選用了兩片 HC-12(如圖 14)無線傳輸模組，負責控制箱與主機體間進行通訊，在空地中最遠可傳送資訊至一公里處，在外接天線下更可達至 1.8Km，且可一對多及多對一傳輸資訊，較藍牙之訊號更強且更遠。HC-12 之規格如下表 4:

表 4 HC-12 規格

產品尺寸	27.8×14.4mm
最大傳輸距離	1000m
工作電壓	3.3V~5.5V
工作頻率	433MHz
串列傳輸速率	1200~115200bps
接腳	VCC,GND,RXD, TXD,SET



圖 14 HC-12

#### 4、2 路繼電器模組

繼電器(如圖 15)通常用於控制電路中，用較小的電流控制較大電流的開關，內部利用電磁線圈控制開關的開闔，在本專題中，我們使用 Arduino 傳送訊號至繼電器，並以此控制主體上的燈號及雷射。2 路繼電器之規格如下表 5:

表 5 2 路繼電器之規格

產品尺寸	50×41×18.5mm
工作電壓	5V
觸發電壓	3~24V
負載電壓	250VAC, 30VDC
負載電流	10A (NO), 5A (NC)



圖 15 2 路繼電器

#### 5、21700 鋰電池

21700 鋰電池(如圖 16)被大幅運用在電動車上，擁有大容量、能量密度高且成本較低等特點，在各方面皆較普通 18650 鋰電池有優勢，因此我們串聯三顆 21700 鋰電池為主體多數系統供電，在充滿電的情況下可續行 40~60 分鐘。21700 鋰電池之規格如下表 6:

表 6 21700 鋰電池之規格

產品尺寸	70×21mm
電池容量	約 5000mAh
輸出電壓	3.7~4.2V
最大輸出電流	10A



圖 16 21700 鋰電池

#### 6、XL4005DC-DC 可調降壓模組

此降壓模組(如圖 17)提供大範圍的直流電壓轉換及 75W 的功率，體積小且穩定，藉此我們選擇使用兩組降壓模組，一組將電池提供的 12V 降為伺服馬達所需的 6V；另一組將電池的 12V 降為 5V，作為藍牙、溫溼度測量模組等附加系統的電源。XL4005DC-DC 可調降壓模組之規格如下表 7:

表 7 XL4005DC-DC 可調降壓模組

產品尺寸	54×23×18mm
輸入電壓	4~35V
輸出電壓	1.25~32V
輸出電流	0~5A
最大輸出功率	75W
工作溫度	-40~+85°C



圖 17 XL4005

#### 7、微動開關

微動開關(如圖 18)是具有微小接點間隔的機構，可透過外力使接點接通及斷開，我們將此裝設於主體的各足之下，並將訊號傳至 Arduino 主板，藉此判斷各足是否觸碰至地面，搭配主程式運算後，成為本機體能適應各類地形之重要因素。



圖 18 微動開關

#### 8、DHT11 溫溼度感測模組

DHT11 模組(如圖 19)能即時量測周遭環境之溫溼度，並把資訊傳至 Arduino 板，我們將其裝設於主體上，當接收指令後，便會回傳正確的環境溫溼度至手機控制介面，以便操縱者觀察及記錄。DHT11 溫溼度感測模組之規格如下表 8:

表 8 DHT11 溫溼度感測模組

產品尺寸	28×13×10mm
工作電壓	3.3~5V
溫度量測範圍	0~50°C
溫度測量精度	±2.0°C
濕度量測範圍	20%~90%RH
濕度測量精度	±5.0%RH



圖 19 DHT11

9、SDLaser 303 雷射筆

SDLaser 大功率雷射筆(如圖 20)，調整好焦距後能點燃火柴、微型雕刻等等，在本專題中用來進行嚇阻之功效，以免其他生物靠近。



圖 20 SDLaser303 雷射筆

10、 Arduino Mega 2560 開發板

Arduino Mega 2560(如圖 21)為一塊以 ATmega2560 為核心的微控制器開發板，擁有 54 組數位 I/O 端(其中 14 組支援 PWM)，16 組類比 I/O 端。ATmega 2560 內建的 4 路 UART 可以與外部實現串列埠通訊，並預置了 Bootloader 程式，因此可以通過 Arduino 軟體直接下載至 Mega2560 中。我們運用此開發板於控制箱及主體中，達成收放訊號及控制各項負載的功能。 Arduino Mega 2560 開發板之規格如下表 9：

表 9 Arduino Mega 2560 開發板

產品尺寸	102 x53.6 x15.3mm
主控芯片	ATmega2560
外接電源電壓	7~12V
數位 I/O 接腳	54 個
類比 I/O 接腳	16 個
閃存空間	256KB
時脈頻率	16MHz



圖 21 Arduino Mega 2560

## 11、 MD81S 網路 P2P 遠程攝影機

MD81S(如圖 22)為一基本款網路攝影機，能及時將影像傳輸給使用者。只要成功設定 P2P 模式，影像傳輸距離便不局限於區域網路。影像畫質雖不理想，但足以辨認四周環境，在本專題作為示意使用。



圖 22 MD81S 網路 P2P 遠程攝影機

## (二)、軟體介紹

### 1、Arduino

Arduino 是一種靈活、方便又容易學習的開源電路板。由於開放原代碼，以及使用跨平台的 C 語言開發環境(如圖 23)，使得程式相對來說較好上手，常用於學校教學、基礎控制及互動作品等等。因此我們選用 Arduino 作為我們程式設計的軟體，透過 Arduino 撰寫主程式，並編寫各種副程式，最後再與外面的負載、感測器及伺服馬達作整合，以完成此本次專題。

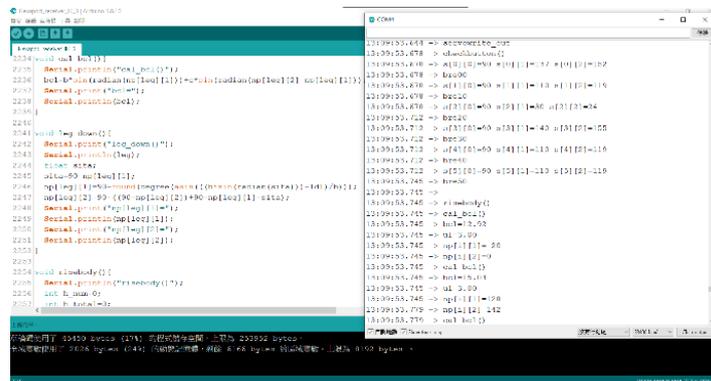


圖 23 Arduino 程式撰寫畫面

### 2、Onshape

Onshape 是一款網頁版的電腦輔助設計程式，能廣泛應用於機械設備、零件、3D 列印等設計(如圖 24)。Onshape 利用雲端計算協助使用者設計，雖然動畫製作等細節不如其他軟體，但是 3D 建模的功能對於我們的機構設計可說是綽綽有餘。在專題中我們使用 Onshape 設計主體底板以及六足各部位零件，並搭配 3D 列印機，製出成品。

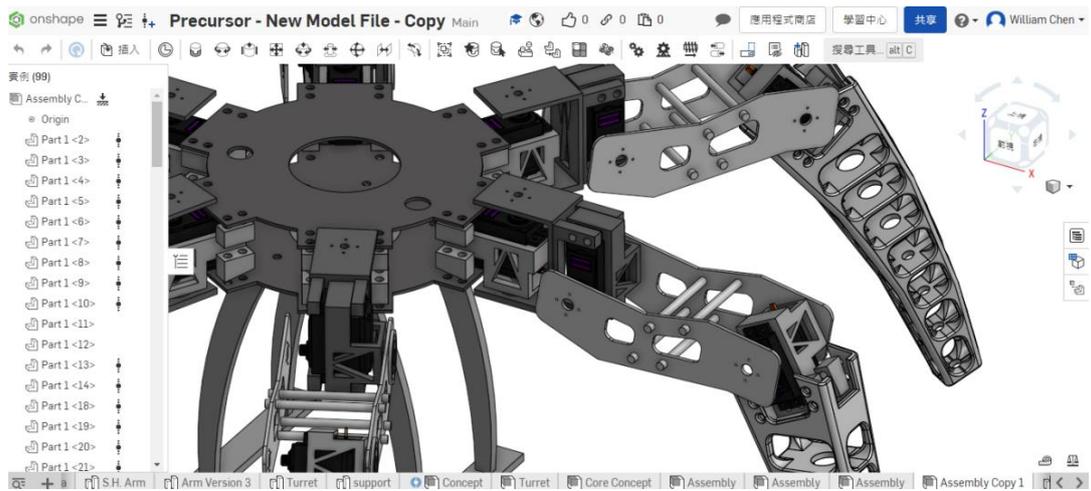


圖 24 Onshape 操作介面

### 3、Altium Designer

Altium Designer 這款軟體結合原理圖設計、電路仿真、PCB 繪製邏輯自動佈線和設計輸出等技術(如圖 25)。我們將所需的零件及線路繪製在電路圖上，經由轉檔匯出後，配合電路板雕刻機將我們所繪製的電路板刻出(如圖 26)。對比先前使用的麵包版接線，在電路接線和尋找錯誤都來的有效率及方便。

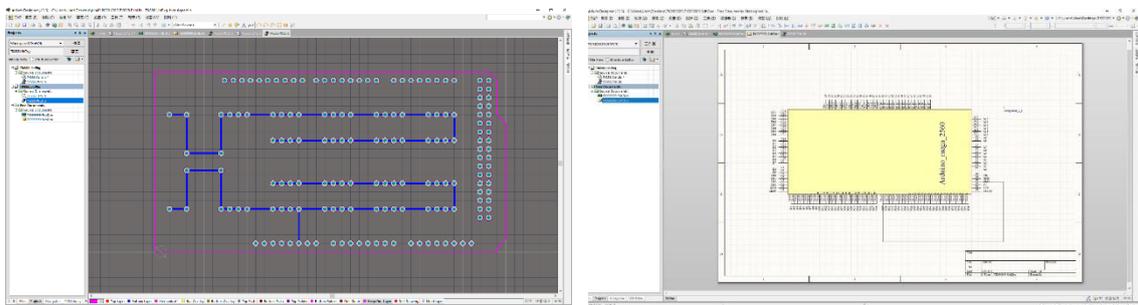


圖 25 電路板設計界面

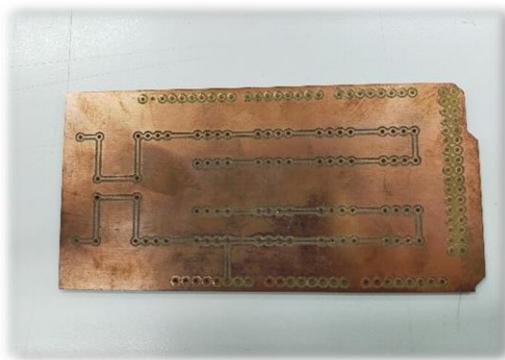


圖 26 電路板成品

#### 4、Android Studio

Android Studio 是官方的安卓作業系統整合開發環境，專門為安卓平台所設計(如圖 27)。本次使用 Java 進行撰寫，以利我們接觸不同的程式語法，而 Android Studio 的代碼重構與快速修正特性對於初學者提供不少協助。在專題中我們運用 Android Studio 設計手機控制介面，搭配其功能十足的圖像使用者介面建構器(GUI Builder)以及向量繪圖軟體 Adobe XD，令我們設計的使用者介面能提供更好的使用者體驗。

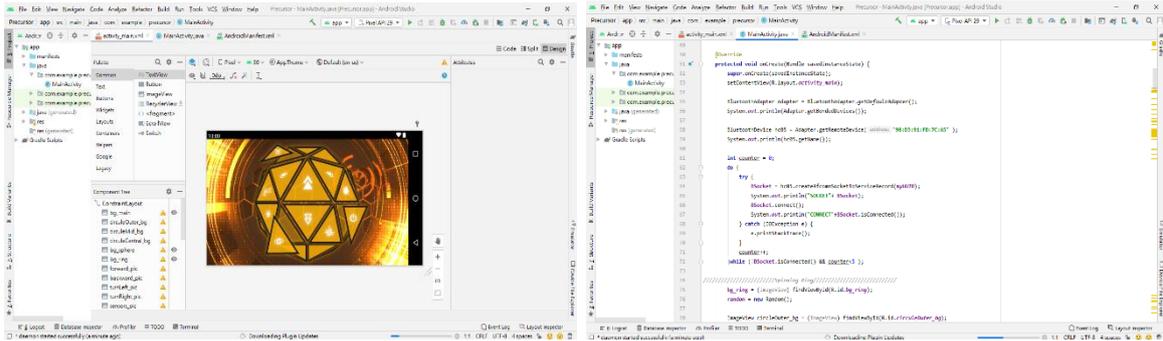


圖 27 Android Studio 操作介面

#### 5、Adobe XD

Adobe XD 是 Adobe 公司推出的向量繪圖軟體，常用於使用者介面設計與網站設計(如圖 28)。我們以此來加強使用者經驗。內建的功能相當齊全，其中輸出轉檔的功能為我們節省不少時間。

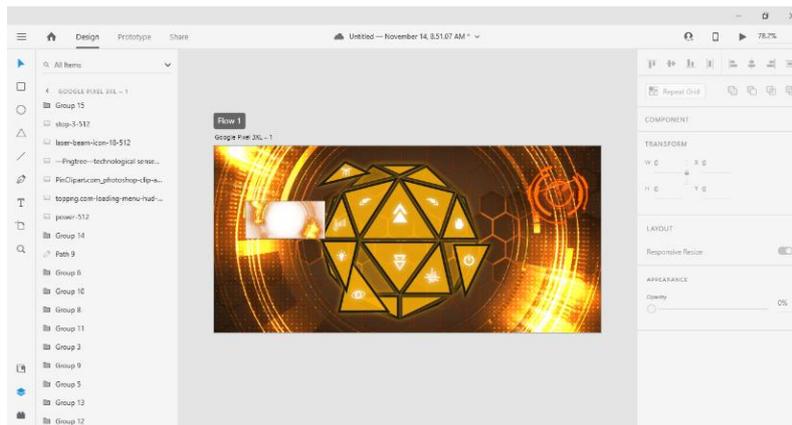


圖 28 Adobe XD logo

### (三)、機構原理

#### 1、機器人逆運動學(Inverse Kinematics)

在製作專題中，我們在軟體上遇到最大的問題便是不知要指定什麼角度給全機共 18 顆伺服馬達，才能操縱其做出指定動作。我們在網上廣泛搜索、多方研究，發現經過逆運動學計算後，便能對機器人做出精準定位控制，於是我們將逆運動學套用至主體之六足上，藉此達到適應各項地形之能耐。

##### (1)、逆運動學基本原理

於多關節之機械中，正運動學的解，是給定馬達特定角度後，機械所形成的姿勢；而逆運動學正好相反，是先決定機械之目標姿勢，進而反推出各馬達所需給定的角度，在本專題中，我們訂下每一足的末端點所需到達的目標位置，將各目標位置帶入公式，經過複雜計算便能得出我們所需的所有角度。

##### (2)、逆運動學應用

如下圖 29 為一足之側視圖，A、B、C 為三段邊長，H 為主體離地高度，L 為 B、C 邊長投射至地面的長度， $\theta_1$ 、 $\theta_2$  分別為給予馬達 1 及馬達 2 的角度。主體行走或轉彎時，需在 H 不變之下，將 L 改變為 L'。首先運用三角函數，利用  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  及 B、C 計算出 L 和 H，再利用 C、L 與該足末端需位移的長度計算出期望的 L'。將 H、各邊長度與 L' 運用反三角函數，可得出最終  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 。而下圖 30 為一足之俯視圖，可利用 A、L 與該足末端需位移的長度計算出馬達 3 之  $\theta_3$ 。運用計算出之  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  與  $\theta_3$  分別給予馬達 1、馬達 2 及馬達 3，達成自由度甚高的控制(如圖 31)。搭配六足末端之微動開關回授周圍環境資訊後，即可輕易適應各類複雜地形。

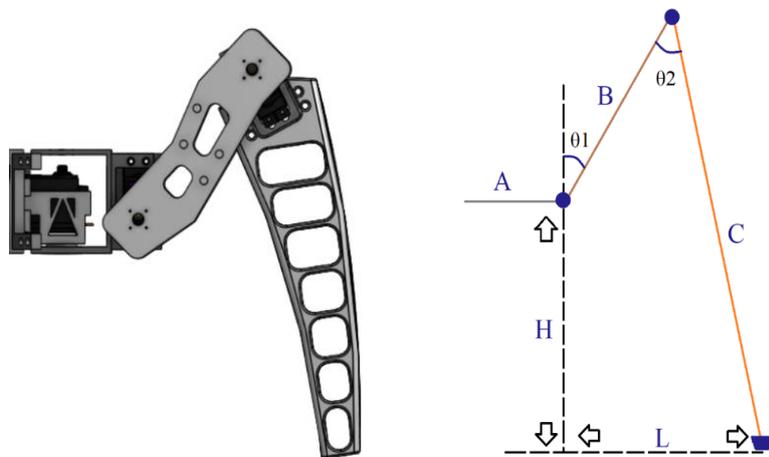


圖 29 一足之側視圖

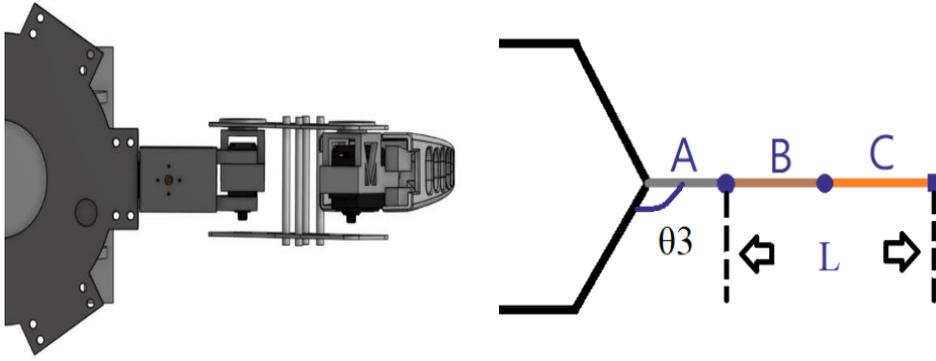


圖 30 一足之正視圖

通式：

1. B、C 邊長投射至地面的長度為L

$$L = B * \sin \theta_1 + C * \sin(\theta_2 - \theta_1)$$

2. 主體離地高度 H

$$H = C * \cos(\theta_2 - \theta_1) - B * \cos \theta_1$$

細部分類：

1. 一足向下，向下長度為 dl

$$\theta'_1 = 90 - \sin^{-1} \left( \frac{B * \cos \theta_1 - dl}{B} \right)$$

$$\theta'_2 = \theta_2 + \theta'_1 - \theta_1$$

2. 抬起身體，抬起高度為 ul

$$\theta'_2 = \cos^{-1} \left( \frac{B^2 + C^2 - L^2 - (H + ul)^2}{2 * B * C} \right)$$

$$\theta'_1 = \theta'_2 + \cos^{-1} \left( \frac{L^2 + (H + ul)^2 + C^2 - B^2}{2 * C * \sqrt{L^2 + (H + ul)^2}} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{L}{H + ul} \right)$$

3. 前後移動中期望的 L' (fl 為單次前後之距離)

第 1,2,5,6 足的 L'

$$L' = \sqrt{[(A + L) * \sin 60 \pm fl]^2 + [(A + L) * \sin 30]^2} - A$$

第 3,4 足的 L'

$$L' = \frac{fl}{\sin \left( \tan^{-1} \left( \frac{fl}{A + L} \right) \right)} - A$$

4. 將 L' 轉為  $\theta'_1$  與  $\theta'_2$

$$\theta'_2 = \cos^{-1} \left( \frac{B^2 + C^2 - L'^2 - H^2}{2 * B * C} \right)$$

$$\theta'_1 = \theta'_2 + \tan^{-1} \left( \frac{H}{L'} \right) + \sin^{-1} \left( \frac{B * \sin \theta'_2}{\sqrt{L'^2 + H^2}} \right) - 90$$

5. 前後移動中需改變的  $\theta_3$

$$\theta'_3 = \theta_3 \pm \tan^{-1} \left( \frac{fl}{A + L} \right)$$

圖 31 逆運動學公式

## 伍、研究結果

### 一、主體結構

先驅者硬體架構主要以 3D 列印製作，其餘部分以雷射切割機切割壓克力板而成，細部說明分為六足、底板、貨架及外殼四部分，說明如下：

#### (一)、六足部分

六足(如下圖 32 左)以 3D 列印的 PLA 與 ABS 材質製作，而足部的第二部分(Femur)採用鍍鋅鋼板製成，以協助其承受甚大的扭力。關節部分由 MG996R 伺服馬達所控制，每隻腳上分別有三個關節以控制 X、Y 及 Z 軸的移動，再以逆運動學的公式推導，求出各步態所需的角。經由 Arduino 程式撰寫步態規則，使得機器人能適應地形。



圖 32 六足機構(左)與底板構造(右)

#### (二)、底板部分

連接六足所需的底板部分(如上圖 32 右)，以雷射切割機加工壓克力板而成，將中間部分進行挖空以減輕主體重量，並將兩塊底板疊加在一起，以大幅增加機械強度。底板用來將重量平均分擔在六足上，減少主體歪斜時造成的馬達負擔。

#### (三)、貨架部分

貨架部分(如下圖 33 左)使用雷射切割機加工木板而成，其鏤空的設計可不僅有效減輕本體重量，也增加了放置貨物的空間。貨架拱門的設計也可使機器人在待機時當作腳架，減少電源的消耗，增加續航力。



圖 33 貨架構造(左)與主體外殼(右)

#### (四)、外殼部分

主體外殼(如上圖 33 右)我們使用保麗龍磚雕刻而成，其材質特性甚為輕盈，在行走時不易造成中心偏移，可減少馬達負擔。由於材質較軟可在上面進行鑿空，方便放置各類感測器及探勘時所需的物件。在外殼上方也設計了一個小平台，可供小型無人機停放。

## 二、控制箱

控制箱上下層各配備 2 顆高照明度 LED 燈，供使用者於環境燈光不足時使用，箱內使用發泡材質進行整體配置，易於塑型及固定於箱體內。控制箱配置如下：

#### (一)、控制箱上層

控制箱上層(如下圖 34 左)正中心搭載一台智慧型手機，可連線至主體前方的 IP 攝像頭，進行即時環境監控，以便操縱者於遠處即可觀察主體所在之四周環境，並即時判斷應當向主體下達哪些指令，如此操縱者不必親自進入危險區域即可順利操控。



圖 34 控制箱上層(左)與控制箱下層(右)

## (二)、控制箱下層

控制箱下層(如上圖 34 右)配置主要分為兩部分，上半部為手機控制介面，將手機至於其中便可對主體進行操縱，下半部搭載開關，可對控制箱進行控制。功能如下：

### 1、手機控制介面：

控制程式開啟後將自動連線至控制箱內藍牙模組 HC-05，藉此將指令傳送至箱中 Arduino 板及接收溫溼度之數值，手機介面中分為主體行進動作及其餘搭載之配件控制兩種。主體之行進功能共有七種，分為：站立、坐下、前進、後退、左轉、右轉、停止，其餘之配件控制分為：雷射、主燈、副燈、取得溫溼度數值及無人機控制，配件控制可於主體行進中進行。由於無人機為市售商品，因此按下無人機控制鍵後會直接開啟其附加的控制程式，與無人機連線後便可進行操縱，按下返回後即可回至主體控制介面。

### 2、控制開關

最左側之金屬按鈕為雷射的保險開關，每次發射雷射前皆須按下保險開關始可動作。在其右方的 2P 搖頭開關可啟閉控制箱上下層的 LED 燈，而最右側的 2P 鑰匙開關為控制箱的總電源開關，使用者插入鑰匙並右旋後就可開啟總電源，開始控制主體(如圖 35)。



圖 35 控制開關

## 三、軟體結構

本專題中使用兩個程式，一為控制箱中的 Arduino，主要擔任主體與手機間的中繼站，負責將與主體間發送及接收資料的距離拉長至 1 公里以上；另一為主體上之 Arduino，負責控制主體的馬達與燈等負載，而主體移動細部功能如下：

### (一)、判斷足部末端點是否碰觸地板

各足的末端點皆配備一個微動開關，當某足在向下伸長時觸發開關，則開關上緣便會在軟體中觸發該足的硬體中斷，即時停止該足的向下動作，在六足皆依此判斷的情況下，便可有效維持主體在

移動中的平衡。

## (二)、動作分解

### 1、前進及後退

主體的前後動作改編自仿生六足機器人中的三腳步態 (Tripod Gait)，六足分為兩個三腳組，一組三腳分別為一側前、後腳和另一側的中間腳，一個移動週期會分為兩次動作，同一時間最少有三腳支撐主體，動作依序為：第一組三腳依序抬起、第二組將身體向前(後)伸、第一組放下、六腳調整主體高度，因馬達於移動中出力不穩，在計算出六腳伸長的高度並將其平均後，六腳微調主體高度能使移動更加穩定，調整後交換為：第二組三腳依序抬起、第一組將身體向前(後)伸、第二組放下、六腳調整主體高度，完成一次循環週期，並以此週期持續前進或後退。

### 2、左轉及右轉

主體的左右轉為波行步態 (Wave Gait)，同一時間最多只會有一腳懸空，動作依序為：第一腳抬起、另外五腳使主體旋轉、第一腳放下、六腳調整主體高度，完成後交換為：第二腳抬起、另外五腳使主體旋轉、第二腳放下、六腳調整主體高度，依此類推至六腳皆完成，便為一循環週期，並以此週期持續左轉或右轉。

### 3、校正

在每次進行移動之前，主體皆會自動進行校正，動作依序為：第一腳抬起、將控制該腳水平位置的馬達初始化、第一腳放下、六腳調整主體高度，完成後交換為：第二腳抬起、將控制該腳水平位置的馬達初始化、第二腳放下、六腳調整主體高度，依此類推至六腳皆完成，便為一循環週期，藉由初始化各控制水平位置的馬達，六腳能平均分擔主體重量，免於繼承上次動作被中途停止所造成的主體傾斜，使動作間的切換更加穩定。

## 四、成果展示

本次專題的結果如下，圖 36 為主體成品，圖 37 為控制箱成品與使用者介面：



圖 36 主體成品展示



圖 37 控制箱成品及使用者介面

## 陸、討論

### 一、硬體結構

在製作專題的過程中，我們一共經歷了三個版本。第一版的特點為機器人的四足，我們的四足也兼具履帶，如果遇到較複雜的地形可以靈活交替。但是在四足上設計同時履帶，雖然能提升行走的靈活度，但是其重量是馬達無法承受的。在第二版時，我們不但重新設計了腳的構造亦移除了履帶，取而代之的是可上下升降的螺桿，雖然成功減少馬達的數量，但是在硬體材質採用的是實心的螺桿及壓克力，整體來說還是過重。但第三版時，我們決定將足部改成六足，並採用 3D 列印的 PLA 與 ABS 材質印出我們的足部，3D 列印具有高自由度的設計，且 PLA 與 ABS 都很堅固。在設計上多用鏤空，使得重量減輕許多。而六足相對四足來說更加的穩定。3D 列印製成的腳，兼顧輕量化與耐用的性質。這樣的設計使的馬達的負擔相對於前兩版而言減少了許多。

### 二、軟體撰寫

製作過程中，起初是觀摩網路上他人六足機器人的開源碼，但為數不多且都直接給予馬達某特定角度，無法針對地形進行改變，因此只能憑空想像動作過程並打造。在馬達的控制上，我們查找了許多控制多足機器人的方法，最終發現逆運動學最適合用於本專題，因此開始不斷地運算以列出主要公式，寫入程式中並加以驗算，由於當時硬體尚未準備完成，只能運用序列埠監控各項數值，在細心加以判斷各數值皆正確後，等待硬體大致齊全才將程式套用至主體，起初軟硬體結合後發現成果不甚理想，六足馬達與機械中存在許多誤差值，因此在每次測試前後都得再次確認誤差狀況。測試時也發現想像中的動作往往與真實呈現的不符，只能逐漸測試並更改演算法及各類副程式，在堅持且緩慢的進步下才有如今的成果。

### 三、電源與電路

剛開始進行六足的動作測試時，我們採用杜邦線接線並用電源供應器供電，卻發現即使輸出足夠的電流，馬達卻不使用，直到我們改成用粗一點的鐵氟龍線才成功解決問題。不過我們機器人不能一直以電源供應器來供電，所以我們找到電力足夠的 21700 鋰電池 3 顆串聯來進行供電。在測試過程中我們發現將杜邦線直接插在 Arduino 板上會使雜訊太多，因此設計了一塊主板擴充板，並把線錫上去。為了讓主板能更穩定，我們多加了 9V 電池專門供電給 Arduino Mega 2560。

### 四、提升穩定度

製作本次專題中，往往發現程式中各項數值皆正確，但因主體重量及各馬達之力互相拉扯，產生的合力導致實際呈現的角度產生微小誤差，由於六足之各邊長皆不短，微小誤差因此被放大，在各足末端

造成 1~3 公分的距離差，不過由於經費不足，無法選用更高級之伺服馬達(如圖)，有著極大轉矩與 0~330 度的廣範圍且經度更高的控制，凌駕之上的是其回授功能，運用 TTL 通訊將實際狀況回授至控制板，能適時應對外部環境在程式中進行微調，大幅提升穩定度。

## 柒、結論

機器人的硬體經過無數次的構想及修改後，我們決定以 3D 列印來製作六足，近 100% 的密度使其有足夠的機械強度，每隻腳上還設計許多的簍空，令其既能達到減輕重量的目的又不至於喪失太多機械強度。主體部份我們採用保麗龍磚來雕刻，達到必要的輕量化且能保護電路，且有空間來設置感測器及模塊。程式部份我們學到了逆運動學，並成功用三角函數來推導出各種數學公式，成功使馬達精準地做出我們想要的步伐，配合六足末端的微動開關使主體適應多種地形。

即使我們的專題已經達到我們想要的成果，但仍有些許能再加強的地方。包括提升馬達的品質，主體部分希望能找到更好的材質取代保麗龍，六足末端則希望能有摩擦係數更高的材料代替，避免因摩擦力不足而使機身下沉，也可於主體上增加感測器，提升與環境的互動力。

專題對我們來說，並不僅是一份作業，更是一項學習。它所需要的絕非單一專業領域的知識。在製作過程中有許多東西是我們未曾聽過或看過的，只能一步一步自行尋找資料，經過各種失敗及挫折後將經驗吸收起來，內化成自己的實力。我們不斷地在錯誤中學習，在逆境中求生存，在不懈的努力下成功將軟硬體結合，將我們幾個月來的心血化為實體。有了這次專題的經歷，我們精進了學習能力，並學到與組員互助合作，往後不論是專業能力還是做人處事的態度都會是我們的優勢。

## 捌、參考資料及其他

- Onshape Learning Center。2020 年 6 月 3 日。取自  
<https://learn.onshape.com/>
- Zenta Robotic Creations。2020 年 6 月 24 日。取自  
<http://zentasrobots.com/>
- Arduino Mega 2560 R3 開發板硬體規格。2020 年 6 月 24 日。取自  
<https://www.taiwansensor.com.tw/product/arduino-mega-2560-r3-%E9%96%8B%E7%99%BC%E6%9D%BF%E4%B8%AD%E6%96%87%E7%89%88-%E6%AD%A3%E5%BB%A0%E5%8E%9F%E8%A3%9D%E4%B8%AD%E6%96%87%E7%89%88%E7%9B%92%E8%A3%9D-%E4%B8%AD%E5%9C%8B-arduino-%E5%8E%9F/>
- HC-05 使用 Arduino 設定 AT 命令。2020 年 6 月 24 日。取自  
<https://swf.com.tw/?p=712>
- MG996R 規格。2020 年 7 月 6 日。取自  
[https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R\\_Tower-Pro.pdf](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf)
- Mithi's Hexapod Robot Simulator。2020 年 7 月 6 日。取自  
<https://hexapod-robot-simulator.herokuapp.com/kinematics>
- 電腦動畫的逆運動學(Inverse Kinematics)。2020 年 7 月 6 日。取自  
<https://tigercosmos.xyz/post/2020/06/ca/inverse-kinematics/>
- Meet Android Studio。2020 年 10 月 19 日。取自  
[https://developer.android.com/studio/intro?fbclid=IwAR0dPJut8zTTfMcfvBczRfj-2AbqPiYn9Vd8ROXhRT9nVC9X1P7zaI\\_Vf9o](https://developer.android.com/studio/intro?fbclid=IwAR0dPJut8zTTfMcfvBczRfj-2AbqPiYn9Vd8ROXhRT9nVC9X1P7zaI_Vf9o)
- Features overview Adobe XD。2020 年 10 月 19 日。取自  
[https://www.adobe.com/tw/products/xd/features.html?promoid=85665TVQ&mv=other&fbclid=IwAR3Gu-1ten4\\_qGoo3p9NTNyul10Uh47G20FJ-gUNTJE3nNQIBUPWRIYksza](https://www.adobe.com/tw/products/xd/features.html?promoid=85665TVQ&mv=other&fbclid=IwAR3Gu-1ten4_qGoo3p9NTNyul10Uh47G20FJ-gUNTJE3nNQIBUPWRIYksza)
- [筆記]Arduino 實習十一:DHT11 數字溫溼度傳感器。2020 年 11 月 27 日。取自  
<https://a091234765.pixnet.net/blog/post/400005313-%5B%E7%AD%86%E8%A8%98%5Darduino%E5%AF%A6%E9%A9%97%E5%8D%81%E4%B8%80%3Adht11%E6%95%B8%E5%AD%97%E6%BA%AB%E6%BF%95%E5%BA%A6%E5%82%B3%E6%84%9F%E5%99%A8>
- 楊得名、陳伯爵(2019)。電工機械 II。新北市：科友圖書。