

國立臺北科技大學

電機工程系

104 年度專題製作總報告

可即時建圖之管線探勘機器人

Pipeline Inspection Robot for Real-Time
Mapping

指導教授：張文中博士

Wen-Chung Chang

組員：黃揚晟 Yang-Sheng Huang

周鴻汶 Hong-Wen Chou

張珮穎 Pei-Ying Chang

李至哲 Zhi-Zhe Li

中華民國 104 年 12 月 15 日

一零四 學 年 度 專 題 製 作

題目：可即時建圖之管線探勘機器人

(Pipeline Inspection Robot for Real-Time Mapping)

研究成員

	姓名	學號	班級
組長	黃揚晟	101310398	四電四丙
組員	周鴻汶	101310400	四電四丙
組員	張珮穎	101310405	四電四丙
組員	李至哲	101310425	四電四丙

組別：控制組

指導教授：_____（簽章）

中 華 民 國 104 年 12 月 15 日

摘要

專題名稱：可即時建圖之管線探勘機器人

(Pipeline Inspection Robot for Real-Time Mapping)

校所別：國立臺北科技大學 電機工程系

專題生：黃揚晟、周鴻汶、張珮穎、李至哲

指導教授：張文中 博士

本專題主要目的是利用管線探勘自走車進行管線探勘並繪製出路線圖。自走車的主體利用 SolidWorks-3D 繪圖後以 3D 印表機列印而成，車體前方裝設攝影機 IP camera DCS-942L 進行管線內部攝影，將影像藉由無線網路(Wi-Fi)傳輸至監控端，監控管子的內部情況，再根據藍芽回傳之陀螺儀角度資訊判斷轉彎和坡度，繪製出管線路線圖。

自走車另配有：電路板 Arduino Nano，用以連接並驅動各個模組；陀螺儀模組 MPU-6050，用以監控管內車體姿態以及探測管線不尋常起伏並繪出路線圖；藍芽模組 HC-06，用以傳送資料至監控端以及接收監控端指令；壓力感測器 FSR-402，用以測量彈簧所受壓力，以便推算管徑；網路攝影機 DCS-942L，用以探勘管線內部。

動力部分則採用兩顆馬達驅動 IC-L293D 搭配三顆搭載減速齒輪之低速馬達作為動力來源。

誌謝

首先我們要感謝教授張文中博士這一年多以來的認真教導，在這段時間我們學到的不僅是在專業的控制領域有大幅的成長，在待人處事與團隊合作上更是學習到了很多，教授總是一步一步的引導我們修正我們不足的地方，讓我們自己去尋求答案，在過程中也許會遇到很多麻煩，但是在教授的苦心指引下，我們的收穫總是能夠滿載，經過教授的教導，我們在危機處理與團隊相處合作等等方面已經領先了其他人一大步。

而實驗室的學長們更是對我們細心指導、並且非常熱情的在我們有麻煩時挺身而出，提供我們許多有建設性的意見與幫助，使我們在製作專題時遇到問題總是能夠突破困境，如果沒有他們的幫忙，我想我們的專題絕對不會如此完整。

一年多以來學長們雖然自己有碩士博士論文要準備，但總是會無私的空出時間來幫助我們、協助我們，因此我們真心感激謝謝他們，在此要特別感謝吳佳鴻學長、顏嘉佑學長、羅世凱學長。

專題工作分配表

題目：可即時建圖之管線探勘機器人

(Pipeline Inspection Robot for Real-Time Mapping)

	姓名	學號	工作內容	專題比例	簽名
組長	黃揚晟	101310398	主程式撰寫 設計車體	_____%	
組員	周鴻汶	101310400	影像處理 材料採買	_____%	
組員	張珮穎	101310405	設計車體 影像處理 材料採買	_____%	
組員	李至哲	101310425	程式撰寫 材料採買	_____%	

組別：控制組

指導教授：_____（簽章）

中 華 民 國 104 年 12 月 15 日

目錄

摘要.....	2
誌謝.....	3
專題工作分配表.....	4
目錄.....	5
第一章 研究動機與目的.....	6
第二章 系統架構.....	7
2.1 系統功能流程圖.....	7
2.2 硬體介紹.....	8
2.3 結構設計.....	10
2.4 重量評估.....	13
2.5 控制介面.....	14
第三章 理論.....	18
3.1 陀螺儀.....	18
3.2 藍芽.....	19
3.3 壓力感測器.....	19
3.4 3D 列印.....	20
第四章 實驗結果.....	21
第五章 結論.....	24
第六章 成果與未來展望.....	25
參考文獻.....	26

第一章 研究動機與目的

➤ 動機與目的

2014 年所發生的高雄氣爆案，造成大量的人員死傷以及財產損失，舉國哀悼。事發前曾發現丙烯管線壓力異常，但因無法確知管內實際情形，導致工作人員判斷失當，釀成悲劇。其後，台北市長柯文哲引以為殷鑑，下令清查北市地下管線以預防類似事件發生，卻發現許多管線圖早已遺失。

根據上述，我可以歸納出幾點事發的原因：

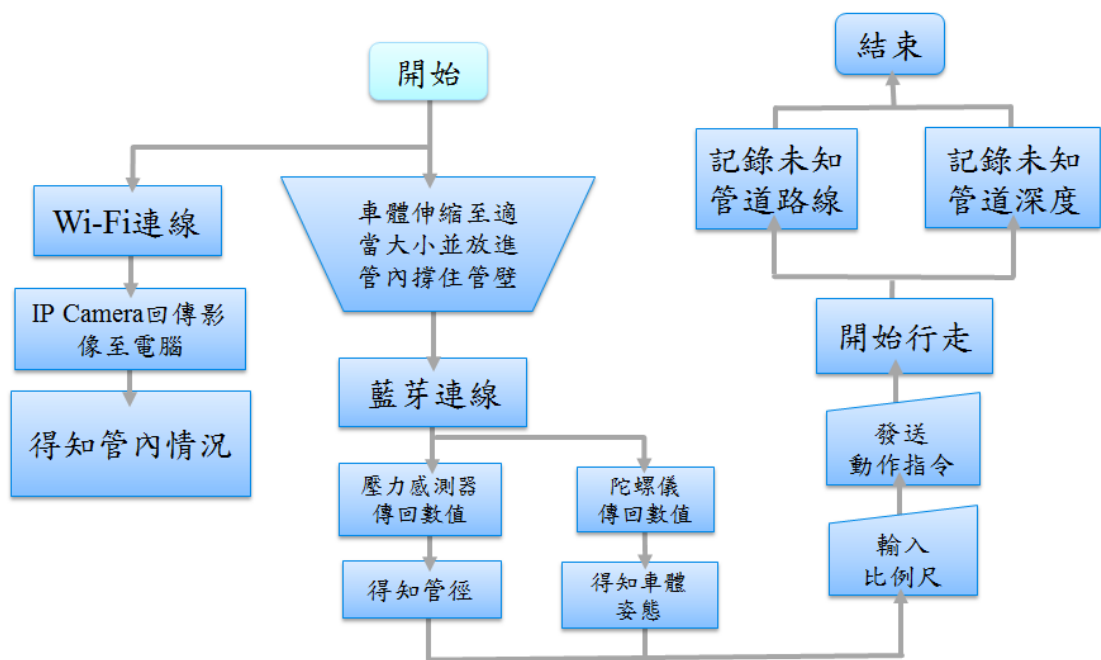
1. 未在第一時間確認管線破損。
2. 確知破損後，無法找得破損點。
3. 事發後，發現管線圖已遺失。

因此我們深思，若能夠製作一台機器人來進行管線的探勘以及平時的保養維護，定能夠有效並且顯著的降低類似的事件重演。因此希望能藉由此專題實作課程來製作一台能夠進入管線探勘並且記錄各項參數的機器人，為社會貢獻一份心力，且為實用科技添一筆佳績。

第二章 系統架構

➤ 2.1 系統功能流程圖

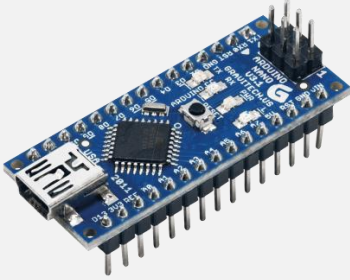

◇ 動作流程圖

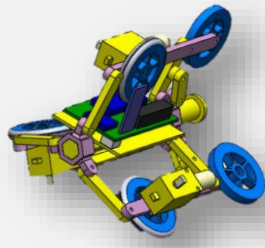
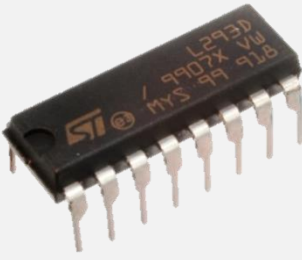
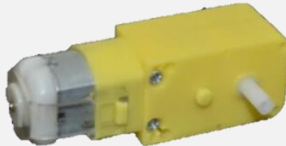



◇ 系統流程圖



➤ 2.2 硬體介紹

➤ 硬體名稱	實體圖	備註
Arduino Nano 主板		1.尺寸：45*18*19（長*寬*高）mm 2.用途：驅動以及連接各個套件模組。 3.利用 9V 電池供電。
陀螺儀模組 MPU-6050		1.用途：用以監控管內之車體姿態以及取得 Z 軸軌跡。 2.由 9V 電池經由 Arduino Nano 主板輸出之 3.3V 電源供電。
藍芽模組 HC-06		1.用途：將車體搭載之所有模組得到的數據傳回監控端進行分析。 2.由 3 顆 1.5V 電池串聯輸出 4.5V 之電源供電跟 Arduino Nano 主板分開供電。
壓力感測器 FSR-402		1.測量控制車體伸縮幅度的彈簧所受之壓力，用以計算管徑。

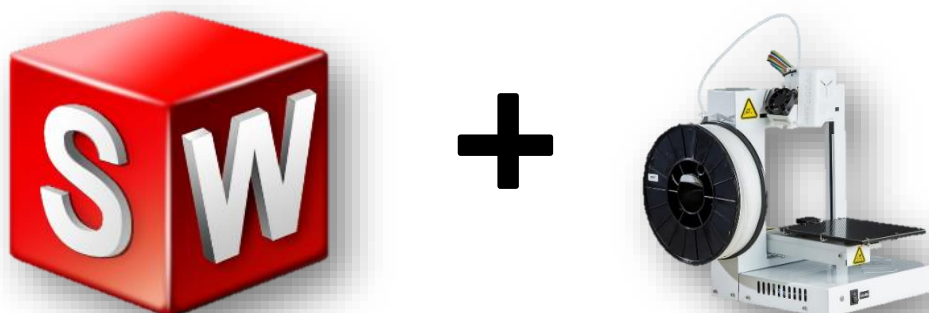
<p>自走車主體</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1.利用 3D 列印技術製作車身主體。 2.含所有配件總重量 553g。 3.可適應管徑 190mm~210mm
<p>馬達驅動 IC L293D</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1.用途：採用兩顆 L293D 晶片控制三顆低速馬達。 2.最大輸出電流 1.2A。
<p>DC 直流雙軸減速馬達</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1.用途：主要動力來源。 2.滿載轉速為 55rpm。
<p>IP Camera DCS-942L</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1.用途：擷取管內的影像，傳回至電腦。 2.額定電壓/電流為 5V/1.2A

➤ 2.3 結構設計

我們使用目前廣受機械、自控工程師與產品設計師青睞的熱門 CAD 軟體—Solidworks，設計出車子的個部分零件，並使用 UP! 3D Printer Plus 2 印製實體再進行組裝。

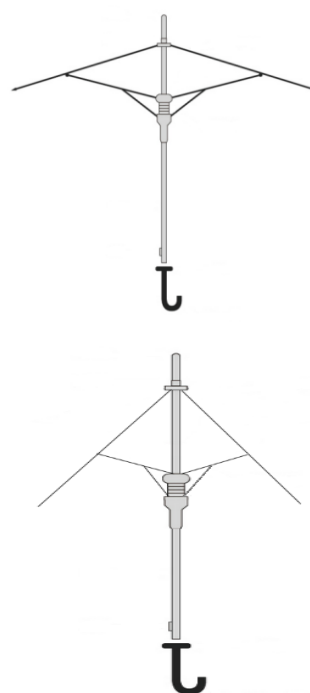
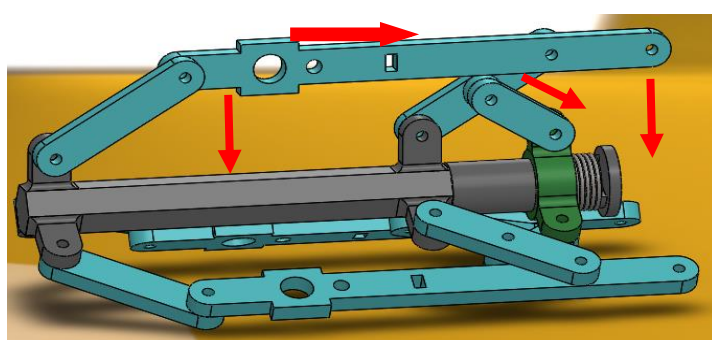
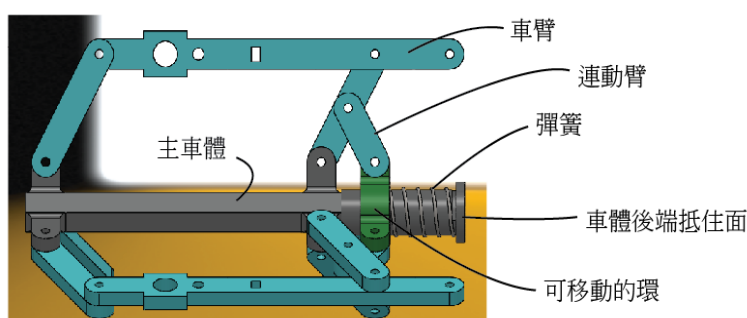
而選擇使用 3D 列印技術之考量分為下列兩點：

1. 成本低，又較為彈性可依需求設計不同零件，相較於訂製零件，特殊的形狀需要動輒好幾千塊，整台車也就需要上萬元。
2. 車體輕，3D 列印使用 ABS 樹脂材料，比金屬材料輕得多。雖然我們繪製出的所有零件難度並不高，但因為要考量車體大小、空間利用與結構穩固，所以也花了不少時間在更改設計和等待印製。



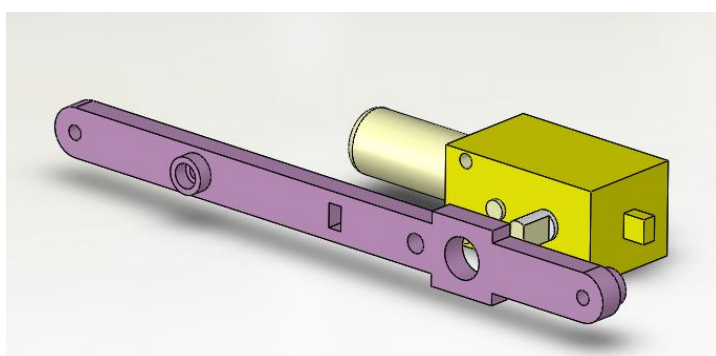
(1)主車體設計

為了要適用於不同管徑的管子，車體必須能夠調整大小。我們以「傘」的結構設計。一個可移動的環，調整前後位置即可改變車體半徑，在加上彈簧做彈性調整，車體放進管線內後，彈簧彈力可以與管壁反作用力抗衡，進而支撐車體，根據彈簧彈力施壓於壓力感測器上判斷管徑的大小。

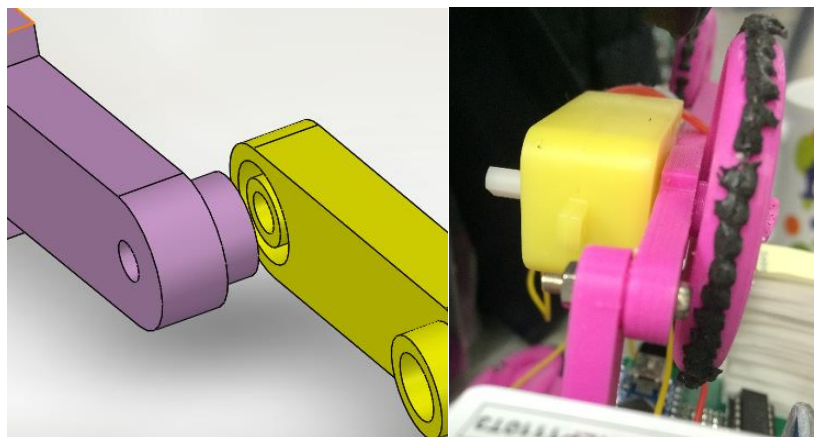


(2)車體手臂與輪子設計

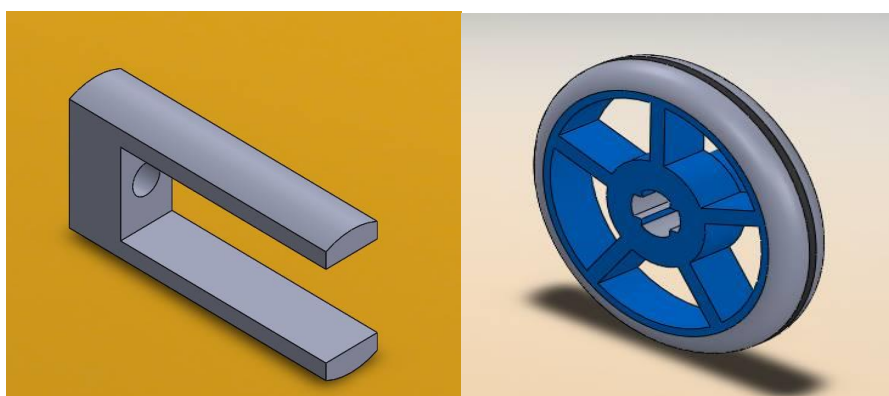
為了符合所使用的 DC 馬達，更改為調過多次最長臂，使馬達可與之貼合，又使輪子有空間轉動。



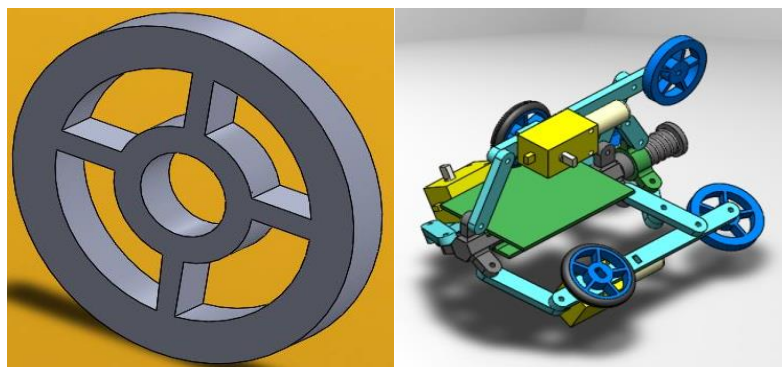
在所有接合點設計卡榫，以增加整體穩固，再鎖上螺絲加強。



為了使輪胎固定在馬達轉軸上，設計門字型的卡榫插入輪胎中心的兩側，讓輪胎不易脫落。



不只在車臂前方放置輪子也在車臂的後方加入輔助輪，讓車子在管內行走時，能平衡車體增加車體穩定性好讓鏡頭可以在正前方以探測管線。

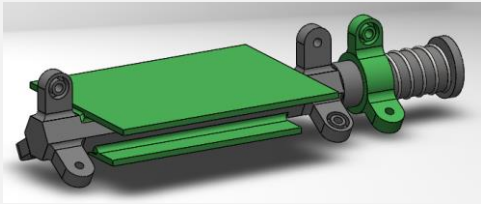
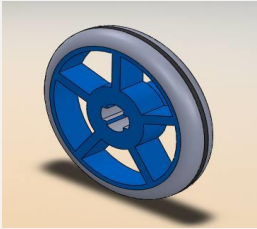
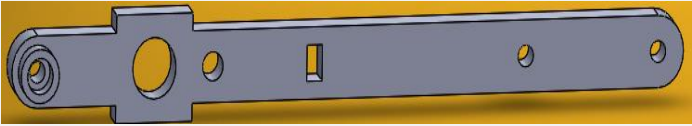


➤ 2.4 重量評估

因為使用 ABS 樹脂材料，所以整體車重並不會太重，但是加上電子元件和電池之後重量變得有點無法負荷，在嚴苛的坡度上有一定的行駛難度，不過在直線方向和轉彎可以順利行走。

重量在我們的自走車上扮演著一項非常重要的關鍵，重量太重會導致馬力不足無法前行，而重量分配不均則會導致自走車無法平衡探勘管內無法全面性，雖然這些問題困擾著我們，但我們也因此學會了更多有關機械設計和自走車的理论及學到寶貴的經驗。

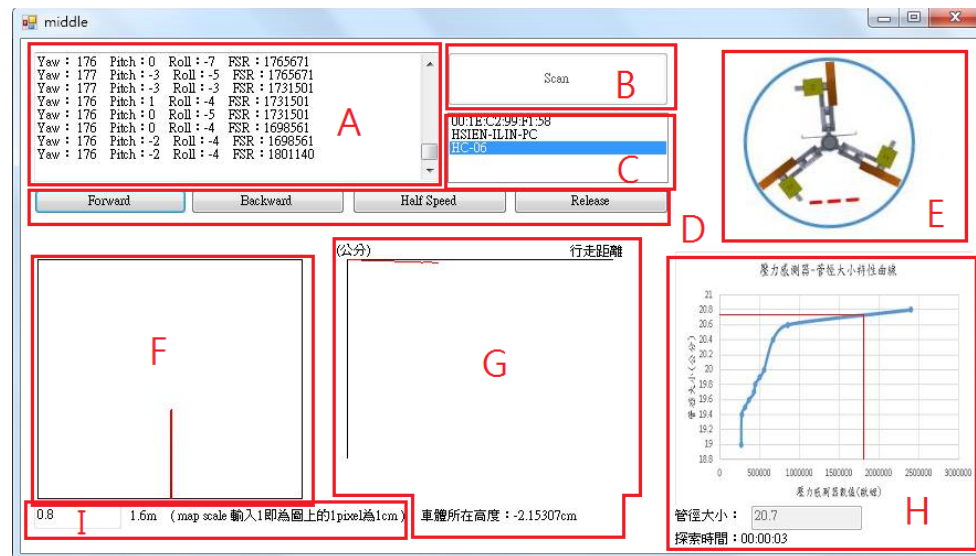
車體總重量: 553g

零件重量	模擬圖形
[車體主結構] 厚度: 38mm 重量: 26g	
[輪子] 厚度: 7mm 重量: 8g	
[車體車臂*3] 厚度: 5mm 重量: 5g	

2.5 控制介面

本專題實作採用 C#/.net 程式語言進行開發，並設計監控介面。以下為介面說明以及程式功能介紹：

1. 介面說明：



- ✧ A 區塊將會顯示系統訊息以及藍芽所讀取的各項數據，方便使用者進行監控。
- ✧ B 區塊為 Scan 按鈕，為程式啟動之按鈕。
- ✧ C 區塊顯示範圍內可供連接之藍芽設備以及監控端藍芽所扮演之角色。
- ✧ D 區塊透過按鈕控制車體的行進與退後，以應付各種情況。
- ✧ E 區塊則藉由藍芽裝置回傳之陀螺儀角度 roll，來對圖片進行旋轉，方便使用者以最直觀的方式進行車體姿態監控。
- ✧ F 區塊用以顯示目前已探索之路線圖。
- ✧ G 區塊顯示機器人的 Z 軸軌跡，並判斷車體所在的高度。
- ✧ H 區塊則是由回傳之壓力感測器數值，對應到由我們實驗結果所繪出的”壓力—管徑”曲線之後，得到當前探索管線之管徑。也同時顯示探索管線的總耗時。
- ✧ I 區塊顯示路線圖比例尺。

2.程式功能介紹及動作順序：

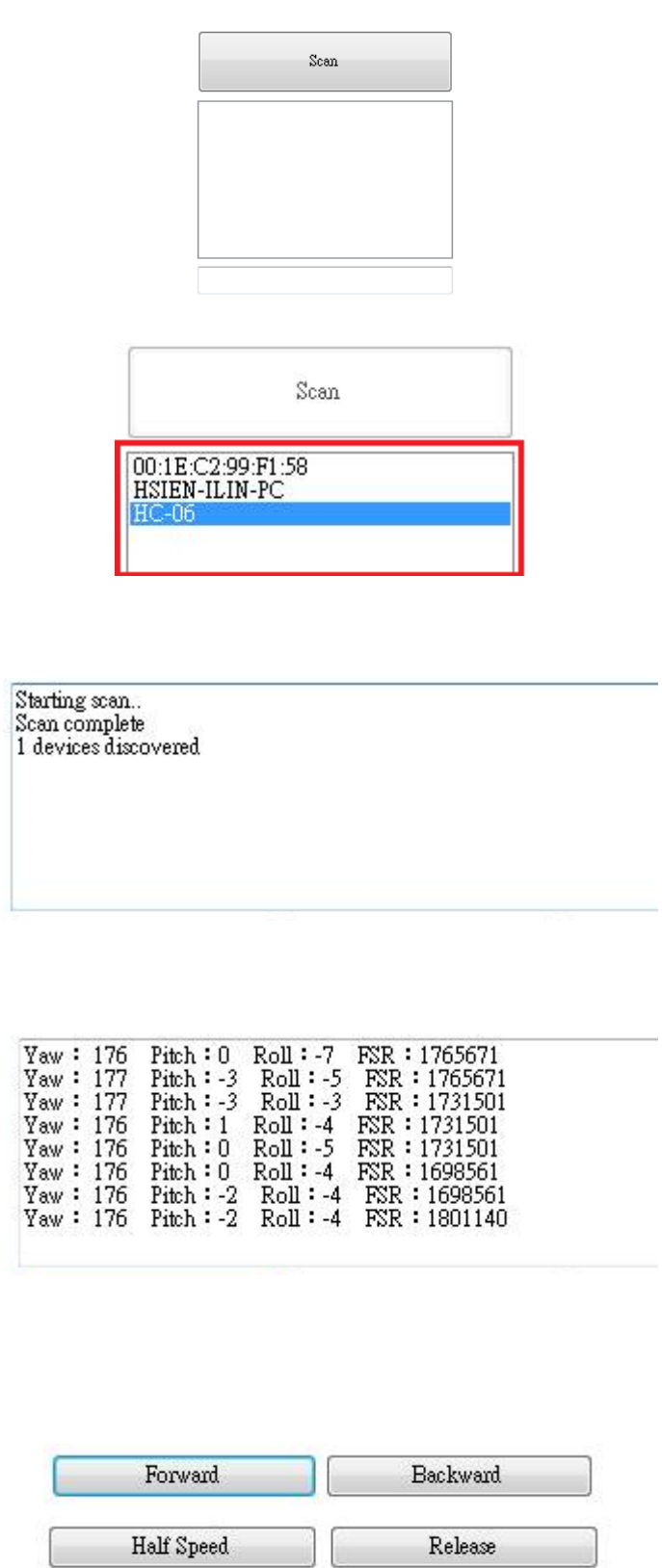
(1)按下搜尋(Scan)按鈕。

(2)系統開始找尋範圍內之有效藍芽裝置，並將搜尋結果條列於下方清單(Listbox)內。

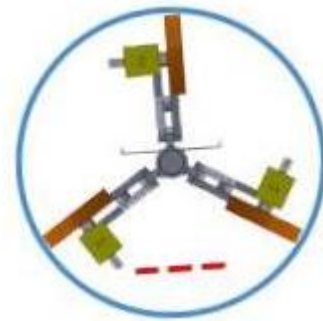
(3)雙擊(Doubleclick)清單內之欲連接裝置，系統便會對該藍芽裝置提出連接請求，並將系統訊息呈現於左方對話方塊(Textbox)。

(4)成功連接後，自走車上的藍芽裝置訊號燈會由閃爍改變為持續亮燈，並開始回傳資料至監控端。回傳之資料包括：陀螺儀之 yaw、pitch 以及 roll 角度、壓力感測器數值。

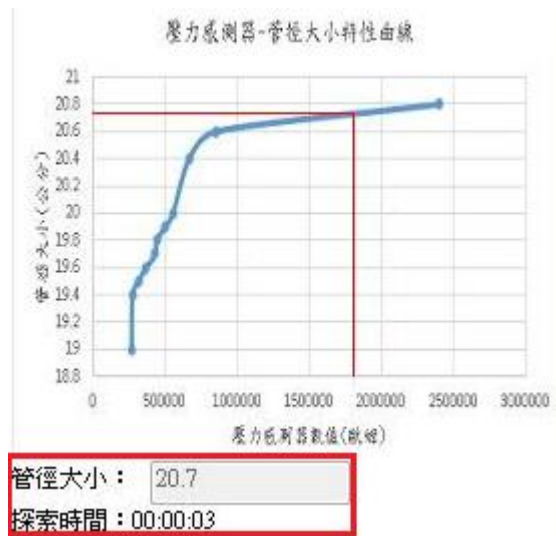
(5)用按鈕控制車體行進，有前進(Forward)、後退(Backward)、半速(Half-speed)、停止(Release)。



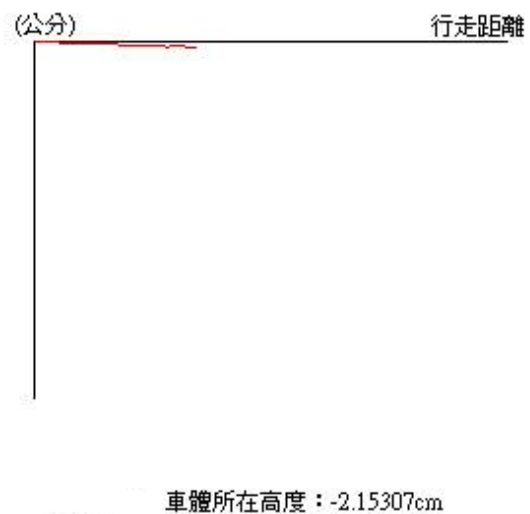
(6)車體後視圖隨著陀螺儀回傳之 roll 角度進行改變，展示車體在管線中的姿態



(7)根據壓力感測器傳回來的數值，經由實際量測的壓力感測器-管徑大小特性曲線來偵測管徑大小。探索總時間也顯示於此。



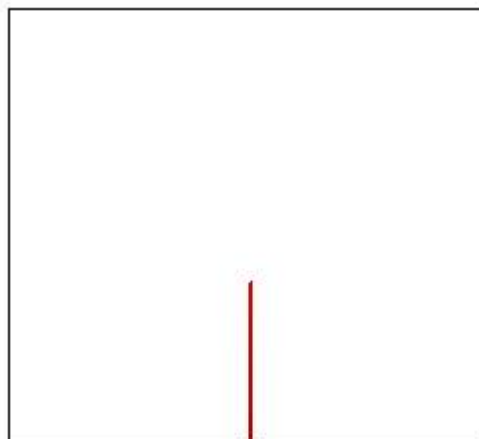
(8)根據陀螺儀回傳的角度，計算出車體所在的高度，同時繪出 Z 軸變化示意圖以及顯示車體目前高度。



(9)提供使用者根據欲探索區域大小輸入數值，並立即繪出比例尺

0.8 1.6m (map scale 輸入1即為圖上的1pixel為1cm)

(10)路線圖部分，為了清楚呈現出路線圖的細節，勢必會占用介面過多空間，因此我們將路線切割為九等份，如此便可省下大量空間，也可簡化介面。使用者若有需要，可隨時按下” X” 鍵查看整體路線圖。



第三章 理論

➤ 3.1 陀螺儀(Gyroscope)：

本專題實作所採用的陀螺儀模組 MPU-6050，為三軸陀螺儀，能夠取得兩種共三組數據，分別為：X 軸方向角加速度 a_x 、Y 軸方向角加速度 a_y 、Z 軸方向角加速度 a_z ；X 軸方向角速度 g_x 、Y 軸方向角速度 g_y 、Z 軸方向角速度 g_z 。圖 3.1.1 為取出數值之關鍵代碼。

```
accelgyro.getMotion6(&ax, &ay, &az, &gx, &gy, &gz);
```

圖 3.1.1

若要使用上述六個數據得到實際上的空間角度，就必須牽涉到歐拉角 (Euler angle)。

歐拉角是用來描述剛體在三維歐幾里得空間的取向。對於任何參考系，一個剛體的取向，是依照順序，從參考系做三個歐拉角的旋轉設定的，所以，剛體的取向可以用三個基本旋轉矩陣來決定。

而藉由旋轉矩陣推導的結果，我們可以得到三軸加速度與空間角度的關係為：

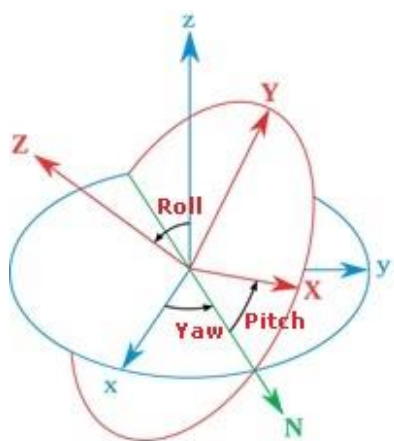


圖 3.1.2

$$Yaw_{rad} = \operatorname{atan}\left(\frac{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}}{a_y}\right)$$

$$Pitch_{rad} = \operatorname{atan}\left(\frac{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}}{a_x}\right)$$

$$Roll_{rad} = \operatorname{atan}\left(\frac{\sqrt{a_x^2 + a_y^2}}{a_z}\right)$$

藉由上述的公式，我們可以藉由陀螺儀所得到的加速度數據，計算出當前車體所傾斜的角度。

➤ 3.2 藍芽(Bluetooth)：

藍芽，是一種無線技術標準，可以讓固定或是行動裝置，在短距離內進行資料交換。自藍芽被發明以來，已經超過二十年光陰，是非常成熟一門技術，而本專題實作所採用 HC-06 藍芽模組是目前市面上普遍最新型的模組，它具有便宜、設定簡單……等等優點。

資料傳送部分，藍芽所回傳之資料為一資料串流(Stream)，PC 端將串流資料接收並進行解析之後，則可以得到所需之資訊。圖 3.2.1 為串流資料接收之關鍵代碼：

```
BluetoothClient client = (BluetoothClient)result.AsyncState;  
stream = client.GetStream();
```

圖 3.2.1

➤ 3.3 壓力感測器(Force-Sensing Resistor)：

壓力感測器，是一種會隨著感測區域所受之壓力而改變電阻值的電阻器。隨著壓力的上升，電阻值會下降；相反地，隨著壓力的下降，電阻值亦隨之上升。圖 3.2.2 為壓力感測器之參考曲線圖。X 軸為所受壓力；Y 軸為電阻值。

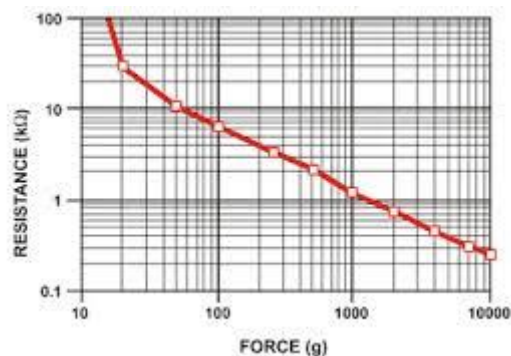


圖 3.2.2

而本專題實作所採用的 FSR-402 壓力感測器，具有下列幾項優缺點：

優點	缺點
便宜	誤差大
體積小	
可彎曲，方便使用	

關於誤差的部分，是 FSR-402 最大的缺點。不同個 FSR-402 誤差最大可達 25%；即便是同一個，每一次的使用最高也會有 10% 的誤差。這也是我們礙於設備關係無法完全盡善盡美的可惜之處。

➤ 3.4 3D 列印：

3D 列印是近年來相當熱門且實用的一門技術。

3D 列印主要利用融化 ABS 材料，一層一層堆疊，並在必要時添加額外的支撐。經過數小時的印製過程後，最終印製完畢時，只需將 3D 印表機所添加之額外支撐清理乾淨，即可得到完整的 3D 模型。圖 3.4.1 為本專題實作利用 3D 繪圖軟體製作之模型草圖。

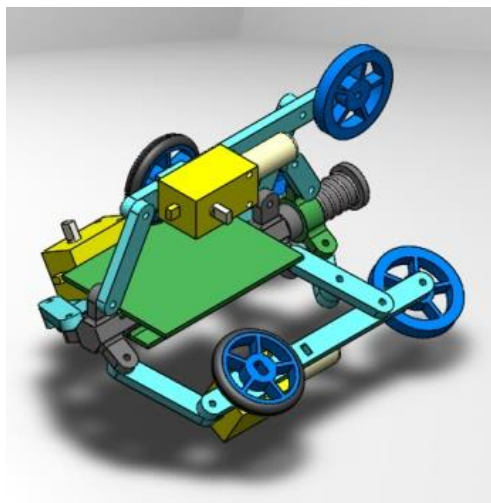


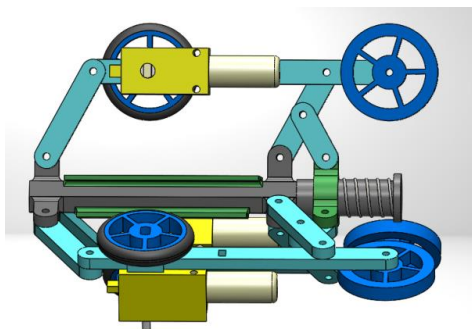
圖 3.4.1

第四章 實驗結果

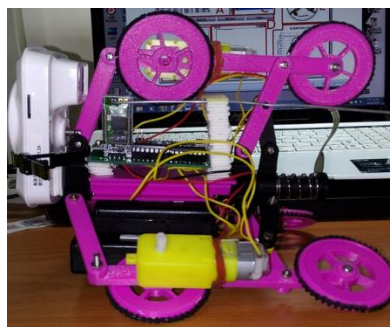
➤ 車體設計

車體結構設計與製作工程圖，都使用 Solidworks 3D 繪圖軟體繪製而成。而所使用的 3D 列印機最大為列印平面範圍為 $15 \times 15(\text{cm})$ ，精度在 1mm 左右，並不算非常精準，所以許多零件在設計上會碰到問題，所列印出之品質也不是那麼理想。

✧ 側視圖

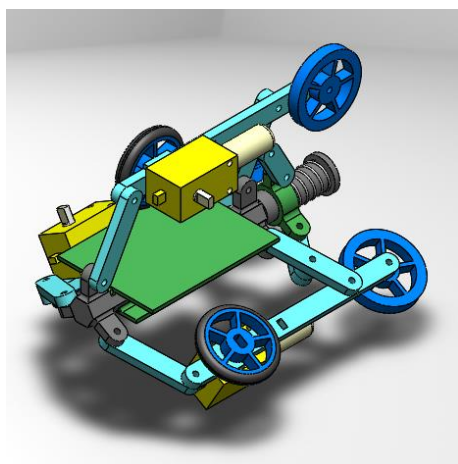


[設計圖]

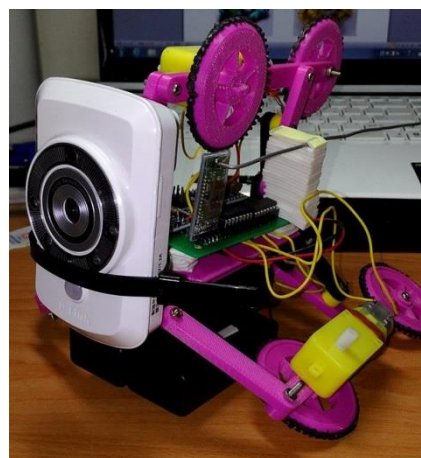


[實體圖]

✧ 等角視圖



[設計圖]



[實體圖]

➤ 行走過程



Step1 放置車體與連接藍芽



Step2 控制自走車行走



Step4 探勘管線完成



Step3 車體右轉彎過程

➤ 測試環境



管線側面圖

管線右視圖



車體放置在管線入口

車體放置在管線出口

第五章 結論

本專題結合硬體設計與軟體程式計算，並加上目前頗受歡迎的 Arduino 零組件組合而成，能行走在任一圓形管線內，並偵測管線走向與平穩度，且繪製管線圖。因為本專題在實驗室中是第一代原型機，又只花約一年的時間製作，仍然有許多改進的空間，像是更佳節省空間的車體設計、更長的電池蓄電量、更即時與更好的視訊品質與更加精簡優化的程式。期望未來學弟妹接續研究完成，製作出更完善的車子，以更貼近實用。

其中的陀螺儀程式設計是參考網路上的文章和論文，因為陀螺儀在繪製路線和轉彎及坡度扮演重要的腳色，所以在此下了一番苦心，藉由歐拉角公式搭配陀螺儀之三軸角加速度計算，可得到三軸之角度。再藉由實驗獲得誤差修正曲線之後，才得到最後之角度資訊。

我們在製作專題的過程中碰到了硬體設計的困難以及軟體程式設計需要改善，在 3D 列印車體的製作過程中遇到不少的瓶頸，例如節省車體的空間和伸縮車體大小，還有耗時的印製與印製時的誤差，但幸運的是非常多人不斷地給予我們提點、建議，一步一步的帶領我們，進一步的培養我們自己找尋答案的能力，這才是專題學到最重要的事。

第六章 成果與未來展望

本專題由於我們只有大約一年的時間，從想法開始到規劃設計，在時間的限制下，我們還無法使功能非常完善，但張文中教授總是教誨我們，必須以「先求有，再求好」的態度去實行。

在目前的動作下，有幾個重大需要改進的部分為：

- 機體重量與體積：目前整體來說重量還是偏重，加強強度和進行重量配置及軟體程式改善之後可以將整體重量及體積再縮小以及增加車體爬坡高度。
- 電池的體積跟蓄電量：目前電池滿電的情況下可以持續時間約為 10 分鐘，如果可以有效將重量減輕，則可以將續航時間增加以及爬坡的高度。
- 藍芽連線問題：目前增加天線加強訊號強度，使藍芽比較不容易斷線，如果程式設計可以再加強，可期望未來獲得改善。
- 車體高度繪圖：車體所在高度可以大致畫出，雖然不是很準確但是誤差在幾公分以內，在可以接受範圍。

相信之後的學弟妹絕對有能力可以改進並且加強本專題的不足部分，也盼望未來自走車能穩定在管內行走並且為實驗室爭取榮耀，為社會帶來更多的便利。

參考文獻

[1] Arduino

<http://arduino.tw/>

<https://www.arduino.cc/>

[2] 陀螺儀, GeekMomProjects, MPU-6050:

DMP Data from i2cdevlib

<http://gogoprivateryan.blogspot.tw/2014/07/mpu-6050-google.html>

<http://www.seeedstudio.com/wiki/images/b/b1/MPU6050.pdf>

<http://diyhacking.com/arduino-mpu-6050-imu-sensor-tutorial/>

[3] 藍芽 HC-06

Add Bluetooth to your Arduino project – “Arduino+Hc-06”

<http://gsyan888.blogspot.tw/2014/03/arduino-hc-06-at-command.html>

[4] 壓力感測器 FSR-402

<http://yehnan.blogspot.tw/2013/09/arduinoforce-sensitive-resistor.html>

[5] 雨傘結構圖, 大振豐陽傘有限公司