

# ArduBot-108 課綱的機器人專題學習平台

陳永凱 蘇景暉 李齊雄

龍華科技大學 電子工程學系

E-mail: D1064161052@gm.lhu.edu.tw

## 摘要

本論文針對 108 課綱內容的規劃，製作多功能 ArduBot 智慧輪型機器人學習平台，除了讓小學以至高中生們都能藉由專題導向、程式寫作的方式，深入學習科學(Science)、技術(Technology)、工程(Engineering)，以及數學(Math)等機器人相關知識外，也能透過不同設計的車頭，自行規劃實際的應用。本論文在機器人專題導向的課程單元中，不僅包含基礎的輸出/入控制，也能加入如感測器校正、權重平均軌跡預測、數位回授控制，以及線迷宮等加深加廣的內容。本論文所發展的 ArduBot 智慧輪型機器人學習平台，成本大約 1500 元，除了可以支援多數國高中生熟悉的 Arduino IDE 的文字程式編譯環境外，也能配合小朋友好上手的拼圖積木(mBlock)程式介面，完成機器人控制的想法。

關鍵字：ArduBot、mBlock、Arduino IDE、拼圖程式

## Abstract

ArduBot, which is an intelligent mobile learning platform based on the recent 108 syllabuses released by Ministry of Education, is devised in this paper for students in both elementary and high school to learn related knowledge in Science, Technology, Engineering, and Math. The head of ArduBot is changeable, which makes it versatile for different learning purposes. The course units designed for ArduBot not only include the basic I/O controls, but also contain more advance topics, such as sensor calibration, weighted average line position estimation, digital feedback control, and line maze solver. ArduBot is a cost-effective learning platform (<NT\$1500), and can support both text based (Arduino IDE), and block based (mBlock) coding environments.

Keywords：ArduBot、mblock、Arduino IDE

## 1. 前言

教育部公布 108 課綱後，STEM 教育越來越多人關注，而成的一種「跨學科教育」的精神，市面上已有許多相關教材與課程，產品功能上有著不同的差異性，而多數的教材無法支持各年齡學習且教材較為單一方向，因此本論文計畫製作出 STEM 教育之相關教材，來增加年齡層多元化的課程。

本論文在設計過程中，在車頭的規劃不僅設計單一自走車頭的款式，也符合[1]自走車國際競賽的標準的電腦鼠、線迷宮鼠，亦或是亞洲機器人運動競賽的避障車，本論文不僅僅可學習也可以參與各類競賽。

針對本論文的課程設計，在基礎語言瞭解與腳位的控制後，另外加入市面較沒有的課程概括以下 1)多元的擴充 2)各年齡的學習課程 3)演算法的運用。

## 2. 電路、機構設計與開發環境

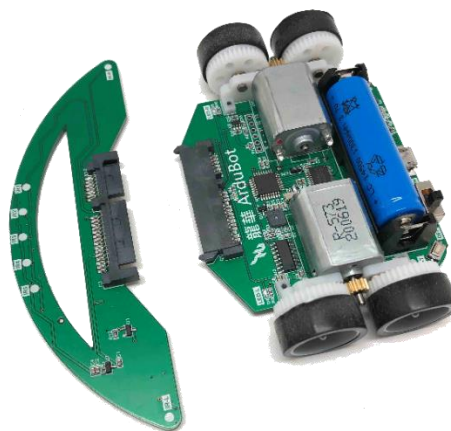


圖 1. ArduBot 的實體圖

## 2.1.車體硬體系統

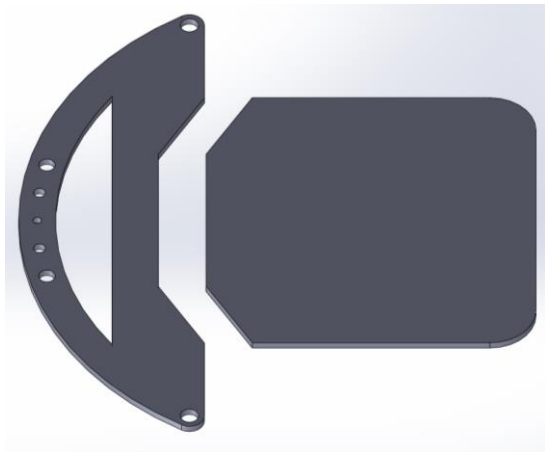


圖 2. ArduBot 板型設計圖

本論文所選用的微控制器「ATmega328p」較為常見，在編譯上更加多元與方便，由於微控制器本身是需要外部供電 5V 的，另外加了一顆升壓 IC「HX4004」，讓供給微控制器的電源更穩定，HX4004 本身是利用電池供電，所以電池電壓在飽滿的 4.2V 時，身壓 IC 本身可以提供到 250 毫安培的電流量，當電池本身電壓下降到 3.6V 以下則能提供的電流量會下降到只有 100 毫安培的電流量。由於升壓 IC 只供給微控制器，就算電池電壓在 3.6V 也能保持微控制器的基本運行。

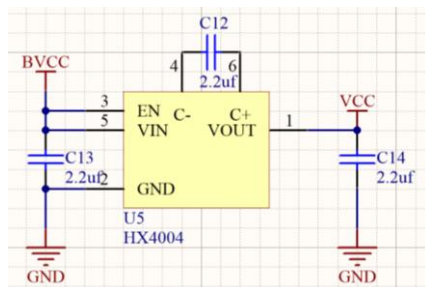


圖 3. 升壓 IC 電路圖

為了讓車子長時間的工作，在車上加裝一顆型號 14500 的鋰電池，在電池的裝過程時為了防止斷路燒毀電路，設計時多加一顆場效電晶體來防止電池裝反。雖然電池可拆裝更換，為了更加方便，車體在設計時加入單節鋰電池的充電 IC「TP4057」這樣在編譯時也可邊充電。

馬達驅動 IC 我們用「TB6612FNG」利用

電池供電讓馬達輸出更加穩定有力，最後車身與車頭連接的零件是「7+15pin SATA」的母座，設計選用這個零件是為了達到「可更換的車頭」，利用快速拆裝就可以實現一車兩用甚至多用。

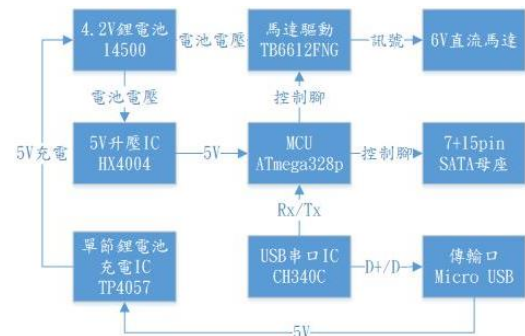


圖 4.車體硬體系統方塊圖

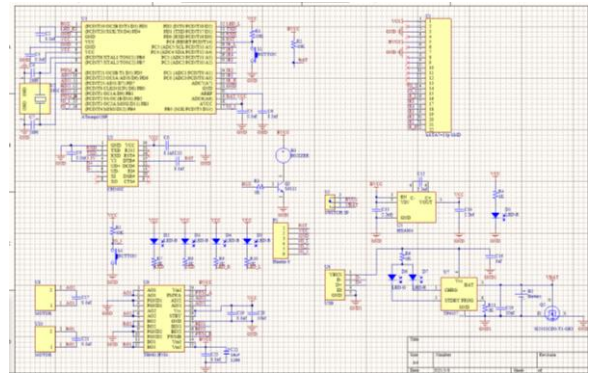


圖 5. 車體電路圖

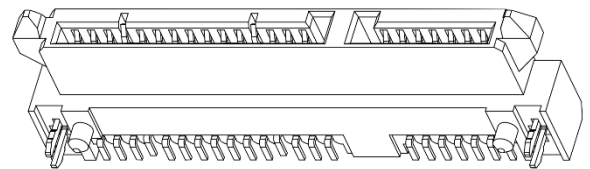


圖 6. SATA7+15pin 的母座

## 2.2. 車頭硬體系統

### 一、循線自走車頭

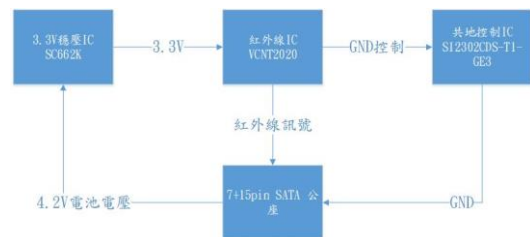


圖 7. 自走車頭硬體系統方塊圖

車身底盤距離地面較低在設計時紅外線是用「VCNT2020」來循線，紅外線的發射的

是由「SC662K」3.3V 穩壓 IC 供電，3.3V 經過紅外線發射降壓一顆 1.25V 後，設計時將兩顆紅外線串聯並再接地接一顆電阻來控制電在 20 毫安培，3.3V 減去 2 顆串連的紅外線 2.5V 剩餘 0.8V 的電壓，知道電壓知道要控制的電流，就可以計算出我們要放的電阻值，這樣控制車子的紅外線就不會一直開啟造成發熱。

而紅外線在 20mA 時工作環境最高可以在 80 度，如圖 8 在環境溫度中每一瓦的功率會上升 380K 的溫度，所以我們在單顆紅外線的功率電壓 1.25V 乘上電流 20mA 功率在 5mW(毫瓦)，圖 8 表示一瓦會上升 380K 溫度 5mW 等於 0.05W 在乘上 380K 等於 19 左右，在正常室溫下 20~25 加上紅外線的熱都還在正常操作的溫度下。

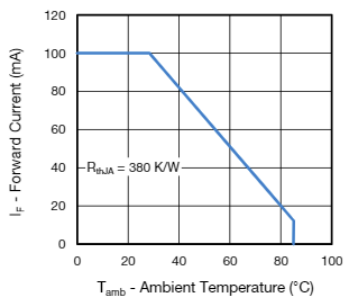


Fig. 2 - Forward Current vs. Ambient Temperature

圖 8. VCNT2020 電流溫度曲線圖

## 二、線迷宮車頭

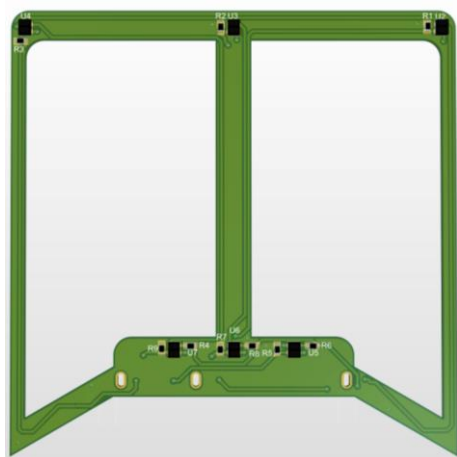


圖 9. 3D 電路板圖

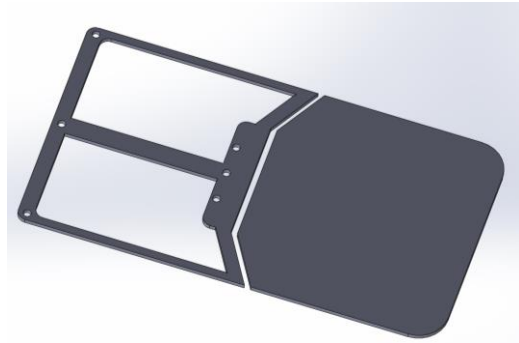


圖 10. 板型結合圖

線迷宮雖然可以用自走車的車頭，但是有的紅外線的擺放位置無法提供作用，而專為線迷宮設計的頭是依照比賽需求而設計的，針對比賽路線縮減了紅外線的數量加長了車頭，靠近車身的紅外線是用來循線的，由於線迷宮的場地只有直線與垂直彎，並不會有大幅度的轉彎，所以循線的紅外線縮減至剩三顆，而拉長了車頭並放置三顆紅外線是為了提早判斷到路口並執行轉彎的動作。

線迷宮車頭電路架構也是與自走車相同，紅外線採用 VCNT2020 利用紅外線供電也是利用 SC662K 將電池電壓穩壓至 3.3V 供給紅外線使用。

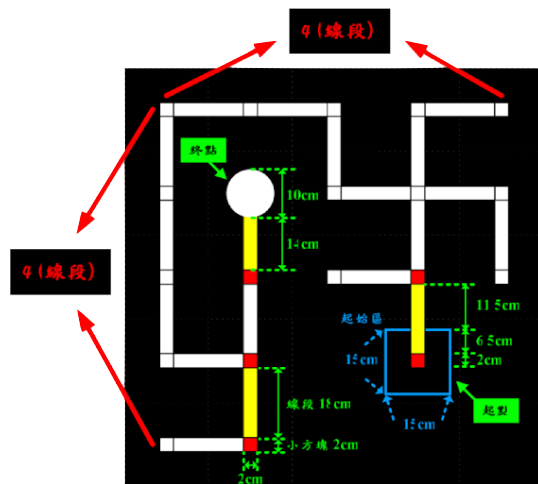


圖 11. 場地規格圖

### 2.3. 四輪機構設計

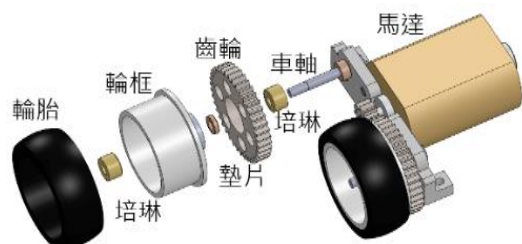


圖 12.單邊機構 3D 爆炸圖

大多的教材常使用 N20 馬達或是一般的玩具馬達，這類的好處是價格便宜且都有相應的輪子可以做搭配。對於教學上堪用但要拿去比賽或是競速還有一段差距，所以本論文對於機構的設計採用 6V 特製規格的玩具馬達在扭力與速度上更有力，再搭配 1:3 的齒比利用一顆馬達帶動兩個輪子，對於速度與抓地力上更勝使用 N20 的馬達。

常見的馬達多數是以一顆馬達配上一顆輪子，由於只有雙輪會導致車身不平衡會再加裝一顆第三輪(牛眼輪)，這樣不僅架高了車身也增加了重量，而常見的馬達擺放位子多數是放在底板或是電路板的下方，由於輪胎的大小固定如果將馬達組放置底板上時，底板與地面的距離不易放入模組化的紅外線或是在用自製的電路板紅外線易受到環境影響。

本論文設計將馬達組放置在電路板的上方，這樣大幅降低底盤的間隙，車頭的紅外線也能減少被外界的光干擾到而影響到數值，設計馬達的固定擋板與輪框完成後交給外面的鑄模廠生產後大幅降低了機構組的成本製造。

### 2.4. 設計理念

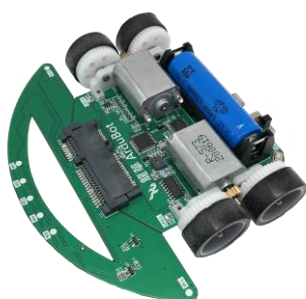


圖 13. ArduBot 車體圖

在設計本論文時發現市面上的教材為了方便教學或是簡單拼裝的成品大多以模組化的較為最多，以線接線的方式來連接，但往往會有鬆脫的狀況亦或是針腳刺傷手不易給低年齡層做使用，而每一種年齡層都會有不同的教材，這意味著每一個階段學習完又需要花錢購買新的教材，大多教材也只教腳位的控制與基礎語言的學習，對於豐富性較為簡略。

本論文前言所說的加入市面較為少量的課程，1)多元的擴充對於課程不單單只有寫程式，針對各類比賽進行模擬，在常見的迷宮自走車中，要如何在相應的路口作出相應的動作或是在避障車要如何偵測到障礙物並進行躲避，這不僅對於課程有更多的變化也增加更多得手做實驗。

2) 各年齡的學習課程一台車可以提供從國小到高中不同的課程由淺至深，介於國小生對於程式的不熟悉，所以利用拼圖介面的方式帶入，利用簡單的腳位控制與介面角色的互動來提高小朋友的興趣與成就感。國中生對於軟硬體配合來達到車子的做動，由拼圖的介面慢慢轉為文字的介面。到了高中生的課程熟悉了文字介面後慢慢的學習車子的運動控制與路徑的規劃。

3) 演算法的運用的加入，後對於車子的控制是更加有利，1)感測器的校正與正規畫，2)軌跡的預測，3)循線的 PD 控制，4)迷宮的演算法。這些大多都是外面沒有教的，而這些演算法足以參與各類競賽。

## 3. 108 課綱的學習單元設計

### 3.1.開發環境

開發環境中 ATmega328p 在編譯程式本身就有自帶 IDE(整合開發環境)的文字介面，但對於未學過程式語言或是無資工背景來說是一大阻礙，而為了讓中小學生更早觸碰程式語言並讓學生瞭解程式，所以使用程式拼圖讓初學者更好上手，程式拼圖最友善的地方是程



式拼圖多數都有支援繁體中文並自帶角色，角色本身就可以利用程式控制它，mBlock 5 本身有支援多方硬體，例如：Arduino UNO、LEGO、MEGA2560...等。非常方便的一款拼圖程式，另外也有許多別人已經做完的程式。

```

1 void setup() {
2   // put your setup code here, to run once:
3   //
4 }
5
6 void loop() {
7   // put your main code here, to run repeatedly:
8   //
9 }

```

圖 14. Arduino IDE

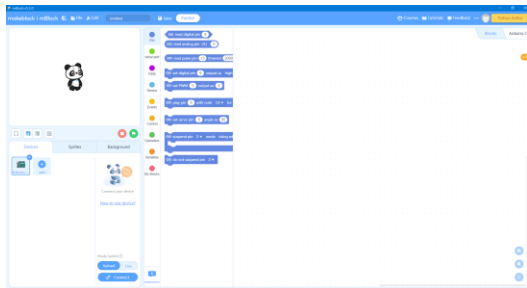


圖 15. Mblock 5

### 3.2. 感測器控制與讀值正規劃

#### 一、紅外線感測器的控制

$$y_{i,c} = \frac{y_{max}-y_{min}}{x_{i,max}-x_{i,min}} (x_{i,raw} - x_{i,min}) + y_{min} \quad (1)$$

紅外線靠著自身發射的不可見的紅外線光與自身的接收器就可辨別是否在線的位子，而紅外線本身容易受到外在的光影響到數值的變化或是不同顆的紅外線數值上也有落差，所以用公式(1)來正規劃。

紅外線在開啟時因會受到外在及反射的差別獲得的數值也有差別，所以為了讓數值平均以免讓車子反應過大，上方  $\frac{y_{max}-y_{min}}{x_{i,max}-x_{i,min}}$  程式是由紅外線的最大值減去最小值除於紅外線取值量到的最大值和最小值相減，乘上紅外線當下量到的數值減去紅外線取值量測到最好的數值  $(x_{i,raw} - x_{i,min})$ ，最後加上紅外線最小的數值，就可以得到單顆紅外線的平均值。

Line	IR Value	IR Value	IR Value	IR Value	IR Value	IR Value	IR Value	IR Value	IR Value
95	979	986	992	121	Nor: 26.72	1005.12	1005.12	1019.58	25.12
96	979	986	992	121	Nor: 26.72	1007.24	1007.24	1020.72	26.26
97	979	986	992	121	Nor: 26.72	1007.24	1007.24	1020.72	25.12
98	978	986	992	121	Nor: 26.72	1006.12	1006.12	1020.72	26.26
99	977	986	992	121	Nor: 26.72	1004.99	1004.99	1020.72	26.26
100	979	987	991	121	Nor: 26.72	1007.24	1020.78	1019.58	26.26
101	978	985	992	120	Nor: 26.72	1006.12	1018.56	1020.72	25.12
102	978	986	992	120	Nor: 26.72	1006.12	1019.67	1020.72	25.12
103	978	986	992	120	Nor: 26.72	1006.12	1019.67	1020.72	25.12
104	978	987	992	121	Nor: 26.72	1006.12	1020.78	1020.72	26.26
105	979	986	991	121	Nor: 25.60	1007.24	1019.67	1019.58	26.26
106	979	986	991	121	Nor: 25.60	1007.24	1019.67	1019.58	26.26
107	978	986	991	121	Nor: 26.72	1006.12	1019.67	1019.58	26.26
108	978	986	991	121	Nor: 25.60	1006.12	1019.67	1019.58	26.26
109	979	986	991	121	Nor: 25.60	1007.24	1019.67	1019.58	26.26
110	979	987	992	121	Nor: 26.72	1007.24	1020.78	1020.72	26.26
111	979	986	992	121	Nor: 26.72	1007.24	1019.67	1020.72	26.26
112	980	986	992	121	Nor: 26.72	1008.37	1019.67	1020.72	26.26
113	979	986	991	121	Nor: 26.72	1007.24	1019.67	1019.58	26.26
114	978	986	992	121	Nor: 26.72	1006.12	1019.67	1020.72	26.2

圖 16. 感測器正規畫比較圖

### 3.3. 賽道位置估測

$$L_p = \frac{S_1 x_1 + S_2 x_2 + S_3 x_3 + S_4 x_4 + S_5 x_5}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5} \quad (2)$$

經由賽道位置估測可以讓車子在運行下計算出線的位子，由於相鄰的紅線有段距離，車子在運行時紅外線會產生不一樣的數值，例如靠近白線的位子數值會偏高，但車子無法分辨左右邊所以在計算位子時，將中間設定為 0 則左右兩側設定為 2 與 -2，這樣車子在計算時就能分辨目前車頭偏向什麼位置。

市面多數教材並不採用演算法的方式，而是簡單利用左右兩側的紅外線碰到線後要讓另一邊馬達加速，這樣就會造成車子蛇行方式前進，以至於無法提高車子本身的速度。

### 3.4. 循線 PD 數位回授控制

利用軌跡預測知道線的所在位置後，接下來要用 PWM 技術，配合以下比例-差分 (PD, Proportional-Difference) 的數位回授控制技術，調整 ArduBot 左右兩個馬達的轉速，來達成循線的控制目標，

$$PWM_R = PWM_B + \Delta_{PWM} \quad (3a)$$

$$PWM_L = PWM_B - \Delta_{PWM} \quad (3b)$$

$$\Delta_{PWM} = K_p e[n] + K_d (e[n] - e[n-1]) \quad (3c)$$

其中  $PWM_B$ ,  $PWM_R$ ,  $PWM_L$ ,  $\Delta_{PWM}$ ,  $e[n]$ ,  $K_p$ , 以及  $K_d$ , 分別代表 ArduBot 循線的基準速度、ArduBot 的右輪轉速命令、ArduBot 的左輪轉速命令、ArduBot 的兩輪速差調整值、ArduBot 中心與賽道間的誤差值、比例增益，

以及差分增益。

由於賽道相對 ArduBot 中心位置的設定而言，中心紅外線感測器的座標為 0，感測器彼此的間隔為 1，左右兩側感測器的座標為 -2 與 2，因此，誤差值  $e[n]$  剛好是賽道位置估測值取負值。方程式 (3c) 中計算 ArduBot 的兩輪速差調整值  $\Delta_{PWM}$  的方式，是用比例增益  $K_p$  乘上誤差值  $e[n]$ ，再加上差分增益  $K_d$  乘上誤差值的變動  $e[n] - e[n-1]$  來達成。但為何 ArduBot 的左右兩輪的轉速命令是用方程式 (3a) 與 (3b) 的方式來表示呢？這是因為當誤差值  $e[n]$  為正值時，也就是 ArduBot 中心位置偏在賽道的右邊，此時 ArduBot 必須左轉，所以右輪就可以藉由比例增益  $K_p$  乘上誤差值  $e[n]$  的調整，比左輪的速度快，至於差分增益  $K_d$  主要是用來調整比例增益  $K_p$  太大時，ArduBot 在循線時，會左右搖擺的現象。

速度控制	比例增益	與中心誤差	差分增益	與中心誤差	前一次誤差
-29	60	0.49	5	-0.49	-0.50
-27	60	0.45	5	-0.45	-0.49
-19	60	0.33	5	-0.33	-0.45

圖 17.PD 控制數值圖

#### 4. 結論

本論文所設計的 ArduBot 智慧輪型機器人，為了配合 108 課綱重視動手實作的精神，係基於廣受歡迎的 Arduino 平台而發展，因此可以支援 Arduino IDE 文字式，以及 mBlock 積木式的程式發展環境。ArduBot 不僅成本低(<NT\$1500)、功能多樣(可自行設計並更換不同功能的車頭)，也能在專題導向的學習單元中，讓同學們深入了解 1) 基礎輸出/入控制、2) 感測器校正、3) 權重平均軌跡預測、4) 數位回授控制，以及 5) 線迷宮等與機器人相關的科學(Science)、技術(Technology)、工程(Engineering)，以及數學(Math)等相關知識。

#### 5. 未來展望

以現在的微控制器的腳位已經用完，為了加更多感測器，必須讓腳位變多 1) 更換微控制器 2) 多一顆微控制器作為輔助，而這兩種選擇都有好處壞處，如果更換一種微控制器以現有的微控制器要讀取編碼器的訊號都較為高

階，在編譯環境上更是對一般人更不友善，換做多一顆微控制器作為輔助，在兩顆微控制器要互相溝通，提高課程的難度拼圖也無法使用兩顆微控制器的溝通。

目前設計只有兩款車頭，在未來將會設計更多用於不同比賽或是環境的車頭，例如：避障電腦鼠、超音波避障車，為了加強車體對於方向與距離的準確性可增加更多的感測器例如：可以知道行徑走多遠的 Endcord 或是知道東西南北的 MP6500 來強化車體的功能性，課程上也會有更多更深的課程。

#### 6. 參考文獻

- [1] New Technology Foundation, Robotrace contest (自走車國際競賽), 檢視日期 2021/3/8, [https://ntf.or.jp/mouse/m\\_trace.html](https://ntf.or.jp/mouse/m_trace.html)。
- [2] 108 課綱資訊網, 12 年國教, <https://12basic.edu.tw/12about-3-1.php>, 檢視日期 2021/3/13。
- [3] U.S. Department of Education, Science, Technology, Engineering, and Math, including Computer Science, <https://www.ed.gov/stem>, 檢視日期 2021/3/13。
- [4] Aroca, R.V., Gomes, R.B., Tavares, D.M., Souza, A.A., Burlamaqui, A.M., Caurin, G.A., Gonçalves, L.M., "Increasing students' interest with low-cost CellBots," IEEE Transactions on Education, Vol. 56, No. 1, pp. 3-8, 2013.
- [5] D. Christiansen, "How a geeky contest of robotic mice in mazes became an international phenomenon," IEEE Spectrum, April, 2014.
- [6] Hsin-Hsiung Huang, Juing-Huei Su, and Chyi-Shyong Lee, "A Contest-Oriented Project for Learning Intelligent Mobile Robots," IEEE Transactions on Education, Vol. 56, No. 1, pp. 88-97, 2013.
- [7] P. U. Lima, D. Nardi, G. Kraetzschmar, J. Berghofer, M. Matteucci, and G. Buchanan, "RoCKIn Innovation Through Robot Competitions," IEEE Robotics and

Automation Magazine, Vol. 21, pp.8-12,  
June, 2014.

- [8] Apitor, Apitor superbots,  
<https://www.apitor.com>, accessed on  
2021/3/13.
- [9] 吳玉誠，高性價比之教學導向用循線輪  
型機器人設計與實作，龍華科技大學電  
子工程研究所碩士論文，民國 106 年 7  
月。