高雄市立高雄高級工業職業學校

專題研究報告

『高速魔術方塊自轉機器人』

班　　級:電子三乙

研究人員:曾稚翔、黃耘圃、趙梓叡、潘迎田

指導老師:李建輝老師

目錄

摘要

我們結合了電子、機器視覺、機械、自動化等應用，改變了傳統機器人的使用方式，將任何一顆打亂的魔術方塊交給機器人，機器人透過影像辨識系統讀取顏色，並且將讀取結果傳給樹莓派，由樹莓派計算出解法後，將解法步驟傳給 Arduino 再由 Arduino 驅動用 3D 列印所製作的機械手臂恢復魔術方塊。

壹、研究動機

魔術方塊是由匈牙利建築學教授暨雕塑家魯比克·厄爾諾於 1974 年發明的機械益智玩具，也是多數人的童年回憶，過了 46 個年頭仍然在這 3C 主宰的世界風行，這代表了它的吸引力不輸給現在的電玩。而我們專題組也決定將它與現代科技和我們高職二年所學做結合打造一台能夠自動高速破解魔術方塊的機器人，並且在 2 秒之內還原魔術方塊。

貳、研究目的

1. 藉由製作過程的思考、查詢資料、討論、實作到完成作品來去更了解我們從未使用過的樹莓派及 Arduino 的功能、特性和應用。
2. 認識 opencv 影像辨識的原理和應用。
3. 學習 python 和 Tkinter 圖形介面撰寫方法。
4. 熟悉樹莓派與 Arduino 之間的配合。
5. 改進網路上現有的魔方機器人機構，設計並製造高速且魔術方塊容易從機器上取下的機器人。

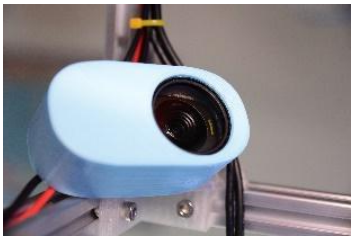
參、研究設備與器材

電子零件	機械零件
羅技 C310 HD 視訊攝影機	電源插座帶開關
Arduino nano V3.0	環型偏光鏡 MRC CPL 37mm
Raspberry Pi 4 Model B 4GB RAM	2020 鋁合金 固定支架
Raspberry Pi 通用 GPIO 擴展板	304 不銹鋼光軸 Φ6
Type C Raspberry 電源	歐標 2020 鋁型材
7 吋電容屏	M4 T 型螺母
樹梅無線迷你鍵盤	M5 T 型螺母
USB 3.0 延長線	M5*10 304 不銹鋼 內六角圓柱頭螺絲
Micro hdmi 轉 hdmi 線	M5*14 304 不銹鋼 內六角圓柱頭螺絲
micro USB 2.0 傳輸線	M6*25 304 不銹鋼 內六角圓柱頭螺絲
usb 3.0 hub	M4*12 304 不銹鋼 內六角圓柱頭螺絲
PCA9685 16 路 PWM 模塊	M4 螺母
16mm 金屬按鈕	鋁合金彈性繞線連軸器 6*6.35
玻璃纖維 萬用電路板	直線軸承 LM6UU（6*12*19）
電源插座帶開關	軸承 626ZZ（6*16*6MM）
開關電源 24v25a600w	MG996R 金屬標準舵機
開關電源 5V40A200W	57 步進電機 57BYG250B（1.2N.m）
74HC595	步進電機驅動器控制板 TB6600
七段顯示器	57 步進電機支架
PWM 直流電機調速器	GT2 皮帶
5050 白光 24V 燈條	2GT 皮帶輪
WS2812B 全彩 LED 燈條	木板
繼電器	束帶
2P 3P/4P/5P/6P 接線端子	3d 打印耗材 pla
端子台	
延長線插座	
4P 排線 20AWG	
2 芯電線 1.5 平方	

肆、研究過程與方法

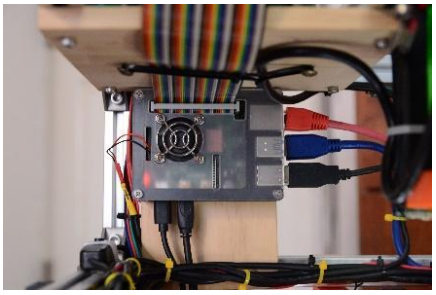
在設計這台機器人時我們把它當作人一樣來思考

眼睛　　→　　鏡頭(影像辨識)



要完成魔術方塊首先就要辨識方塊的顏色，這裡我們使用了鏡頭配合樹莓派，而撰寫樹梅派的語法我們採用較簡單的 python，但由於我們也是第一次使用 python 所以花了不少時間在學習、熟悉這個新語法，而程式內容我們則是參考國外的網站來去撰寫。

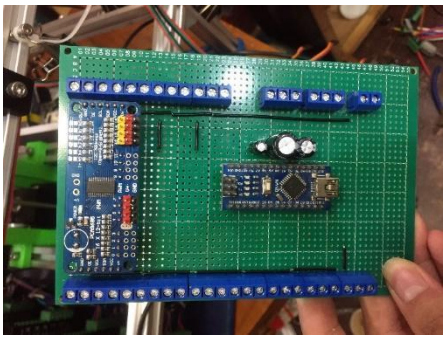
大腦　　→　　樹莓派(運算)



辨識完顏色後則是要去思考如何完成，由於這動作需要運算所以我們採用樹莓派來完成，而轉的步驟的程式我們則是參考了網路上的速解公式來去做撰寫。

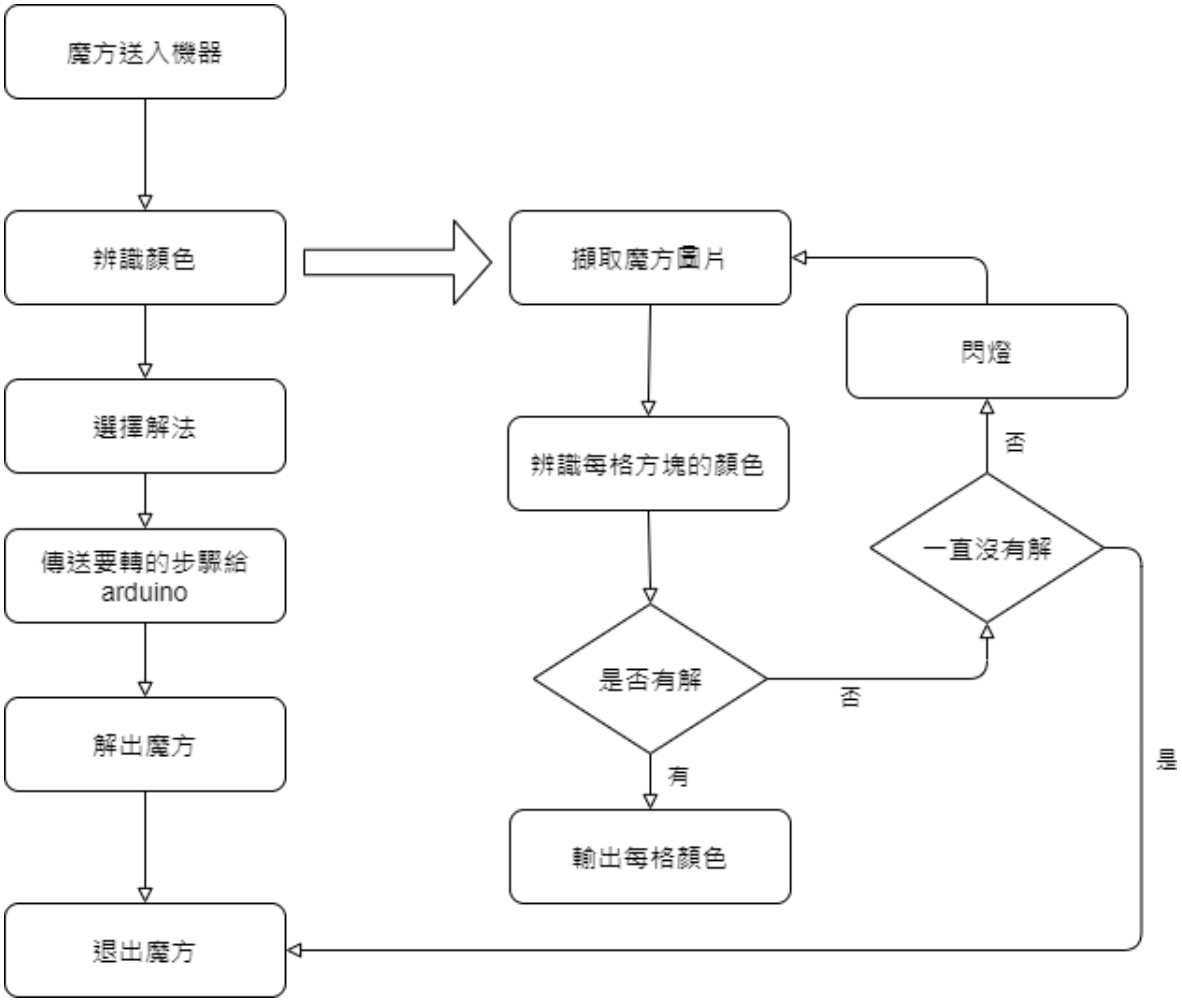
樹莓派程式	功能
cam_cap_img_return_color.py	開啟鏡拍照送圖片給(color_detect.py) 辨識顏色傳回顏色
color_detect.py	接收圖片用 opencv 圖片處理並辨識顏色
dictionary.py	旋轉公式轉換要發送給 ARDUINO 的 陣列
pipe.py	pipe 通訊給 rob-twophase 算出解法
python_kociemba.py	kociemba 算法
servo_ctrl.py	控制 4 個伺服馬達
timer.py	計時器 時間送給螢幕和 74595
tk_gui_MAIN.py	圖形介面
UART_to_arduino.py	送旋轉的指令到 arduino
ws2812.py	顯示辨識出的顏色在燈條上
Arduino 程式	功能
rubik_cube_robot_div8.ino	接收旋轉指令加速度控制步進馬達

手 → Arduino(驅動機械手臂)



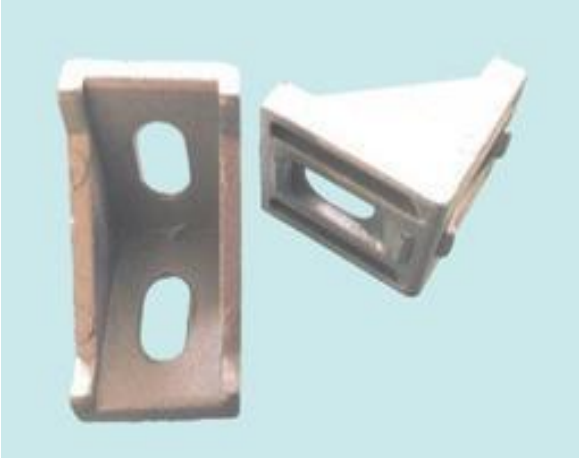
手轉這個動作其實也可以用樹莓派來完成，但經過測試後我們發現樹莓派的信號很不穩定，因此我們又測試了讓 Arduino 來執行，經過測試後發現信號穩定非常多所以才採用 Arduino 來驅動機械手臂。

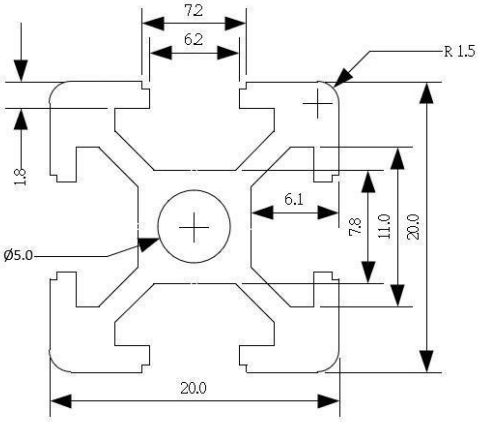
復原魔術方塊流程圖:



骨架:

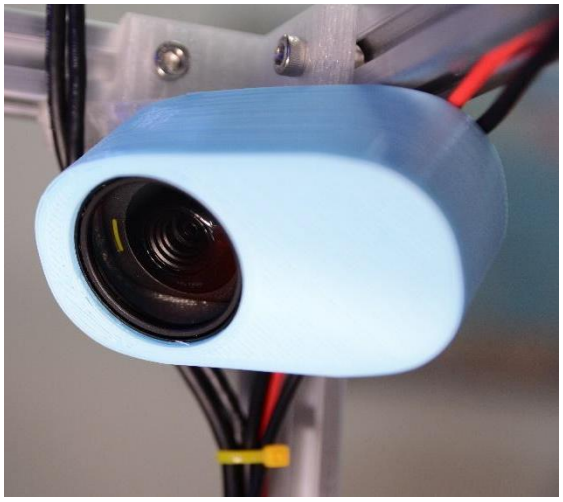
我們的機器所要裝的機械零件和電路非常多，所以我們選擇使用較堅固的材料歐規 2020 鋁擠型作為主要的結構骨架，使機構堅固且牢靠。並且使用螺絲及鋁擠條 90 度固定角件完成骨架。

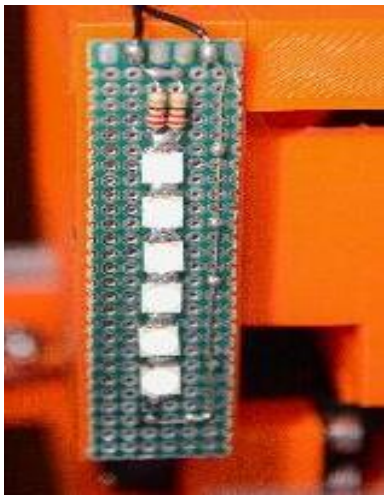




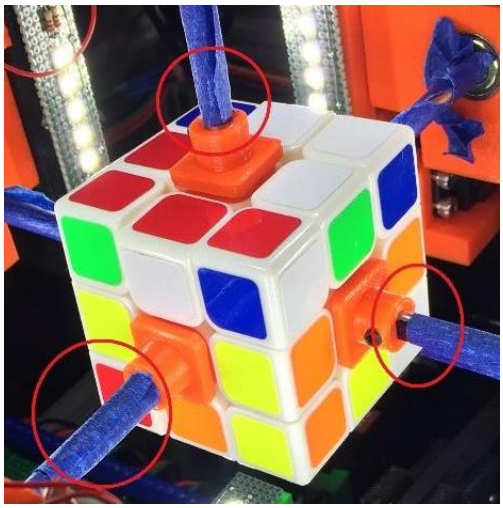
鏡頭:

一開始使用的鏡頭品質並不是很高，所以讀取出來的畫質很不好(會有反光的現象)，我們直接換了一顆品質較好的鏡頭並且加裝了偏光鏡(消除反光)，另外為了避免外界光源影響，我們在四周加裝燈條來去修正它。





鏡頭 A 拍攝上、前、右面，鏡頭 B 拍攝下、後、左面，因為轉軸會遮住角塊所以遮住的不辨識，由另一顆鏡頭拍攝其背面的色塊來推算出被遮住的顏色。

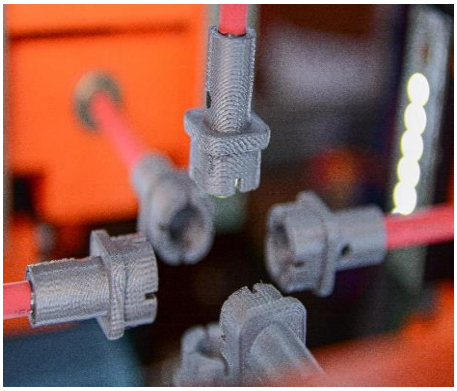


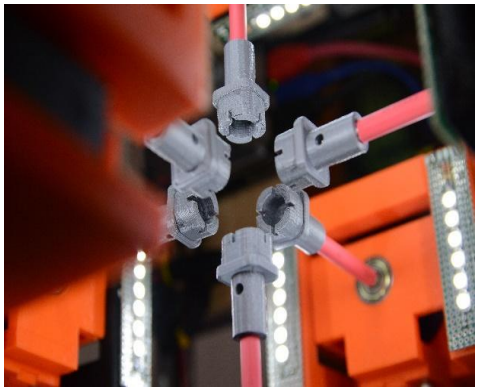
在顏色辨識不出來時我們加入一個動作就是連續閃燈，原因是如果辨識不出來通常是因為過度曝光，但鏡頭本身沒有發覺，所以導致大部分顏色辨識成了白色。

解決辦法閃燈就是，在閃燈的瞬間讓光線到非常亮這樣鏡頭就會發現真的過曝了，自動調整到正確顏色。也就是在這個瞬間進行辨識。

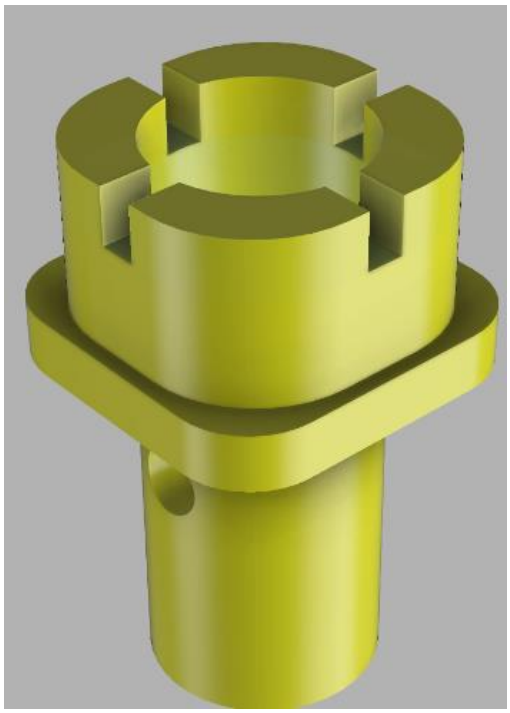
機械手臂：

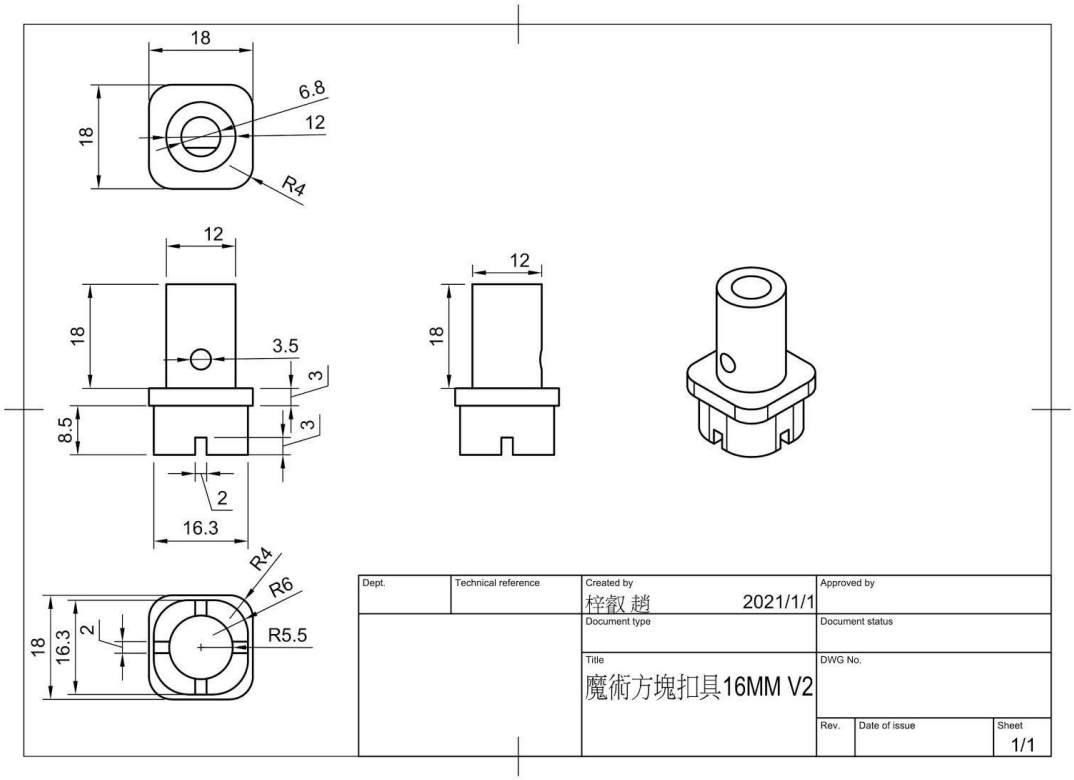
當初設計機械手臂我們決定採用六軸插入式的手臂，這種手臂的優點是速度快、便宜也較穩定。



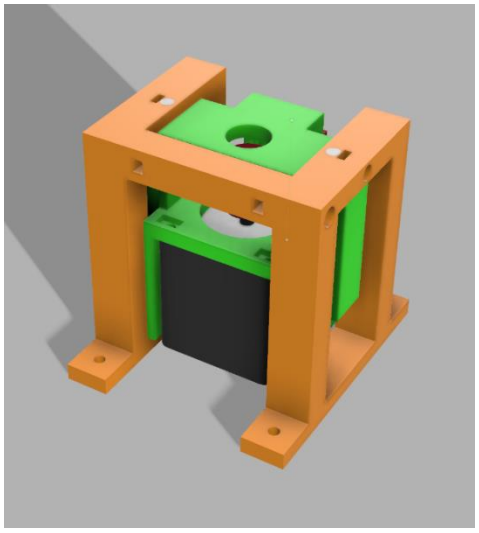


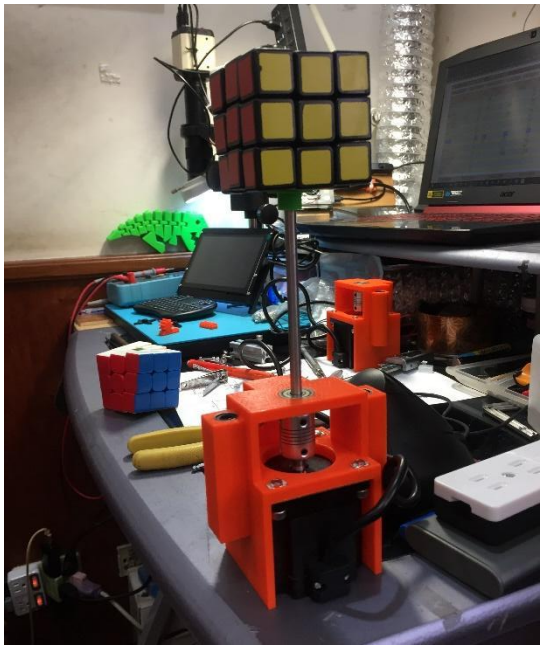
經歷多個版本的扣具，全部都失敗，因為要符合市面上大部分的魔方，所以才畫成這個樣子。



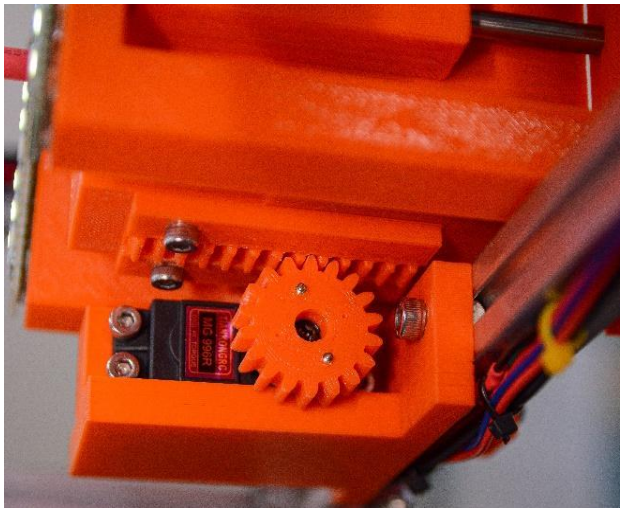


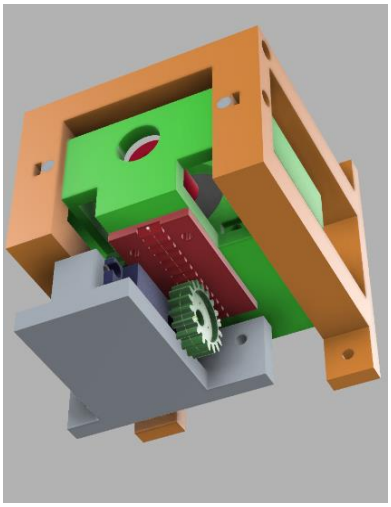
驅動手臂的升降選用 7 個 57 步進馬達。將六個機械手臂馬達裝入 3D 列印物件，搭配皮帶使馬達可以前後移動(做為可以取出魔方的機構)還有轉動轉軸。



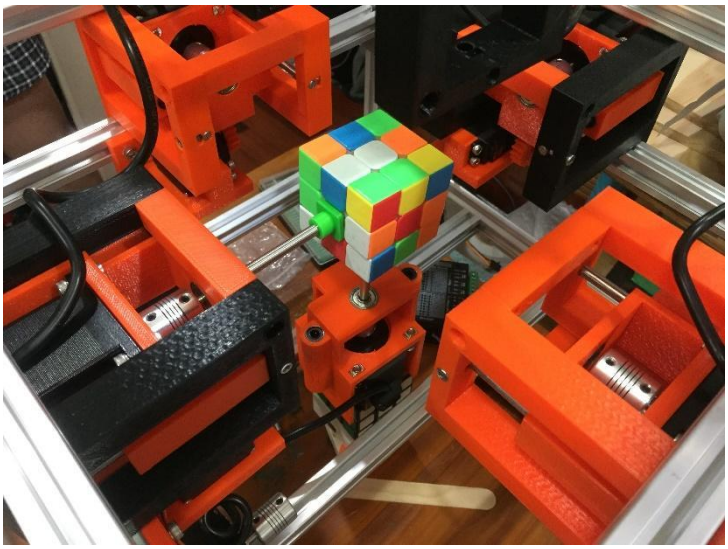


而 4 顆伺服馬達 MG996R 加上齒輪和齒條作為 R、F、L、B 面，控制步進馬達是否插入魔術方塊內。

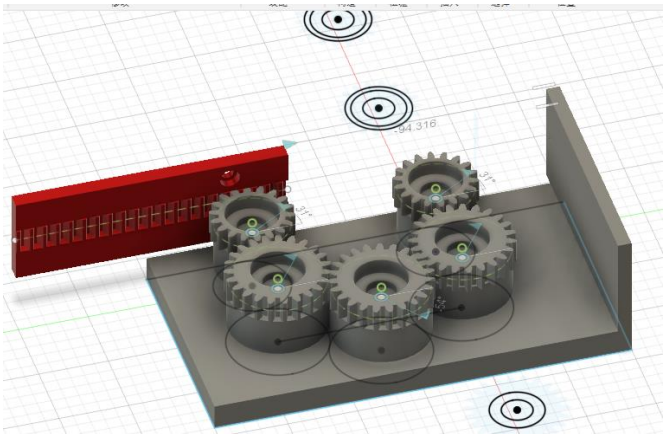


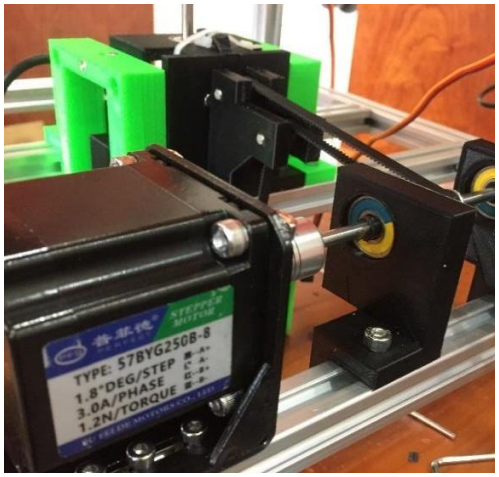


- 組裝六機械手臂

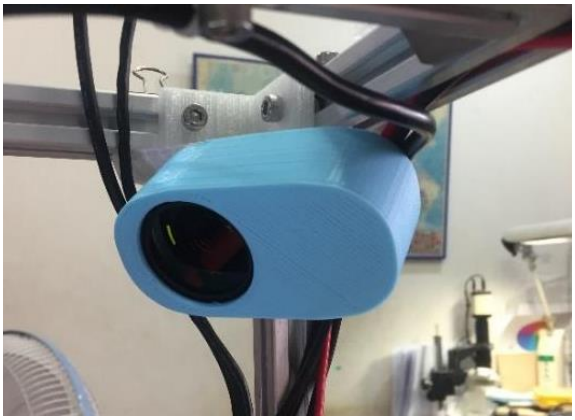


- 魔方升降原本要使用齒條但因為行程不夠，所以最後改用皮帶來控制。

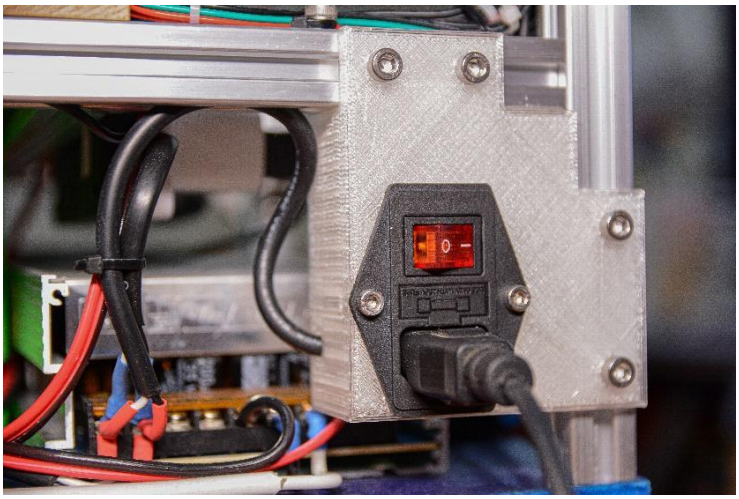


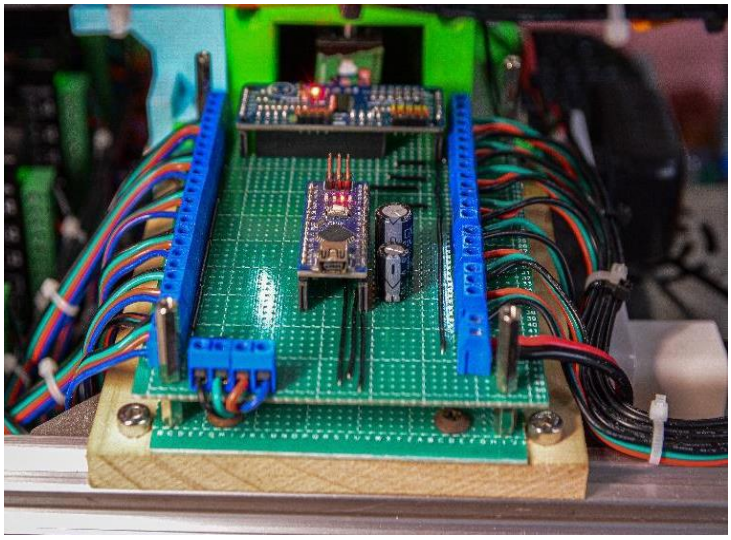


- 接上馬達驅動器 TB6600 燈條、鏡頭(鏡頭會反光所以最後加上濾鏡)

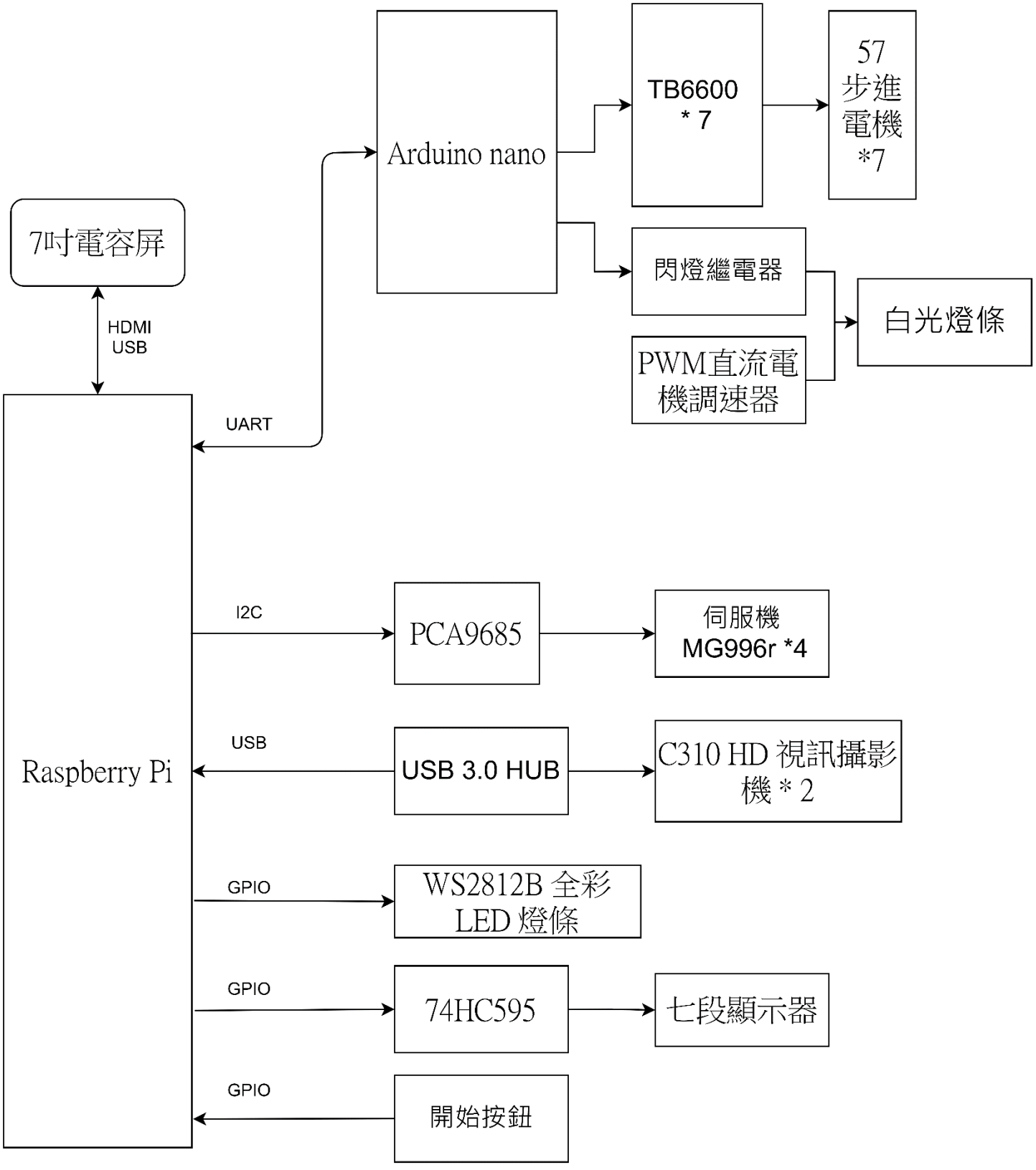


- 接上電源供應器、Usb hub、arduino、110v 電源接口





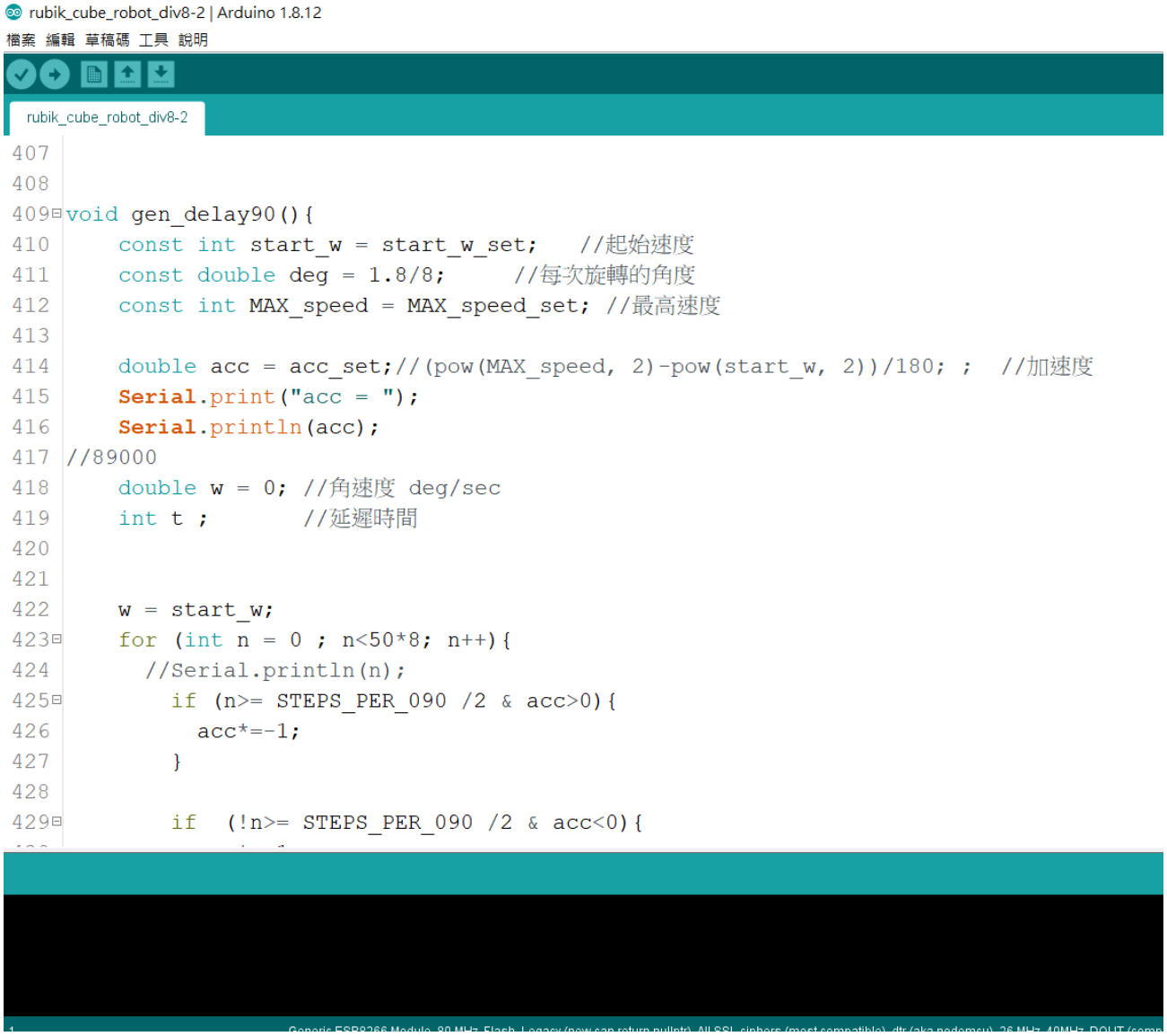
電路方塊圖:


Arduino nano
TB6600
* 7
57
步進
電機
*7
7吋電容屏
HDMI
USB
閃燈繼電器
白光燈條
PWM直流電
機調速器
UART
Raspberry Pi
I2C
PCA9685
伺服機
MG996r *4
USB
USB 3.0 HUB
C310 HD 視訊攝影
機 * 2
GPIO
WS2812B 全彩
LED 燈條
GPIO
74HC595
七段顯示器
GPIO
開始按鈕

(1)Arduino 需要以加速度控制來控制步進馬達否則速度無法提升(起始速度不能設太高，不然非常容易失步)需要緩加緩減。

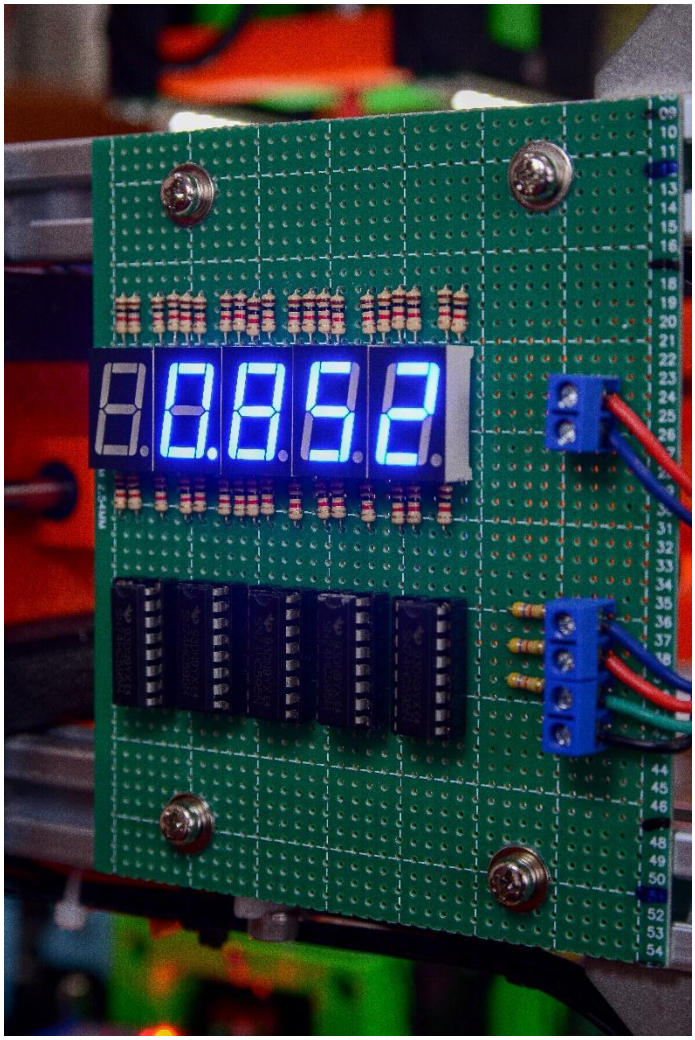
(2)依照設定速度預先計算出每個脈波之間所需的延遲時間。

(3)接收旋轉指令來轉動馬達。



機器人周邊設備:

1. 計時器



2. 影像辨識結果方塊(用來查看是否有色塊辨識錯誤)

3. 觸控螢幕:

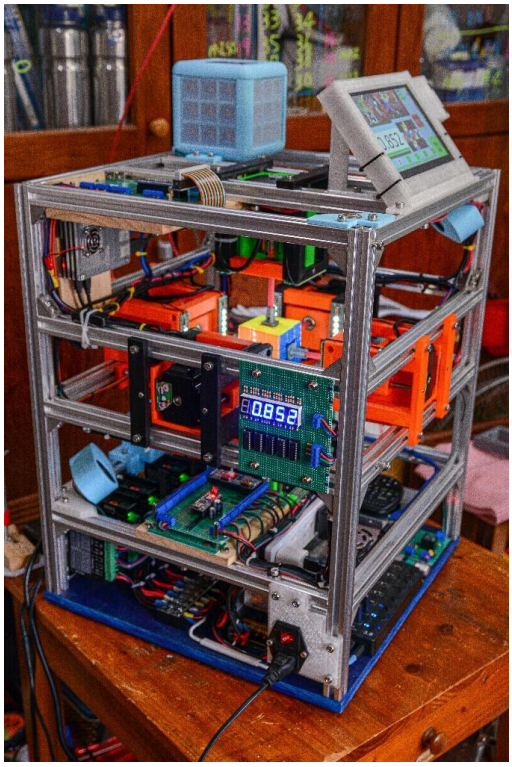
- 選擇魔術方塊的解法(有兩種，比較快的是因為一次可以轉兩面，所以比較快)。
- 根據魔術方塊的品質選擇速度增加成功機率、當有色塊汙損無法辨識時可以單獨在螢幕上輸入。
- 調整旋轉速度。
- 開始按鍵。

伍、研究結果

當任何一顆打亂的魔術方塊放入機器後，機器人能夠自動辨識顏色、計算出公式並且驅動機械手臂成功將魔術方塊在 2 秒內復原。

我們的 GitHub: https://github.com/sean920310/rubik-s-cube-solver-robot

成品圖:



陸、結論

經過將近半年的研究、製作、除錯、改良這台機器，終於趨近於完美，在製作過程中我們學到了許多學校沒有教的事情，像是影像辨識的程式如何撰寫、機械手臂如何驅動。藉由這次專題製作的機會我們學到了不少新知識，也讓我們了解到自己還有許多可以學習的地方，相信這次製作專題的經驗讓我們的知識及能力都有相當大的進步!

柒、參考資料及其他

(1) kociemba
https://github.com/muodov/kociemba

(2) rob-twophase
https://github.com/efrantar/rob-twophase

(3) Lego Rubik's Cube solving robot
https://www.youtube.com/watch?v=wLzn1w8vgM4&ab_channel=EliasFrantar

(4) HighFrequencyTwister
https://www.youtube.com/watch?v=ixTddQQ2Hs4&t=137s&ab_channel=JayFlatland
https://github.com/jayflatland/HighFrequencyTwister