

投稿類別：工程技術類

篇名：破風手的驕傲－公路車電子變速系統

作者：

林育全。市立松山工農。綜高 301 班電子學程
溫致凱。市立松山工農。綜高 301 班電子學程

指導老師：
葉力齊老師

壹、前言

一、研究動機

我們是熱愛自行車運動的學生，希望擁有一台有電子變速器的自行車，但一套電子變速動輒就要上萬元，所以我們想利用原有的機械變速來達到電子變速的效能，不僅能改善機械變速線生鏽的問題，還能提升騎行中變檔的順暢度，更可以利用藍牙連接手機，隨時掌握自行車的變檔狀況及電池電量。

我們以在學校三年內所學到的各種專業技術和一些在網路上的參考資料，做出了這台擁有電子變速效能的自行車，希望能幫助那些熱愛騎自行車卻沒有太多經費的人們也能擁有電子變速。

二、研究目的

從國中的時候就很喜歡腳踏車的相關事物，因此使我們對其產生了很大的興趣。使用電子變速器可以降低變速的時間與誤差，增加準確度與踩踏的順暢度。因此想自行來做做看電子變速。

三、研究方法

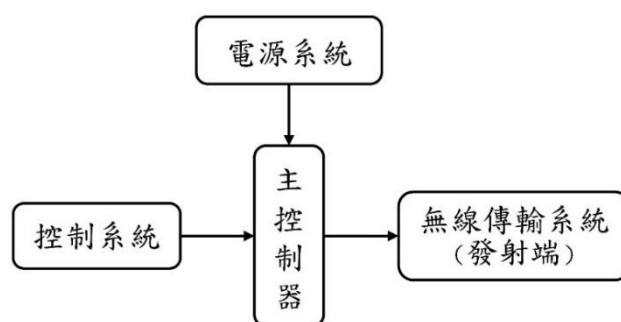
我們研究的步驟是，先想出初步的主題並和指導老師討論题目的可行性，接著去尋找對此專題有興趣的同學，然後再和指導老師做更深入的探討，定下完整的專題題目後，就開始依照個人專長來工作分配。

我們用程式搭配各單位的電子元件來模擬自行車的行駛狀態，經過程式不斷的測試和修改後，確定各單位的電子元件動作無誤後，便開始設計電路、軟體，並製作硬體部分，最後將軟體程式和硬體電路結合後，進行實際上路測試和微調，待所有環境因素都完整測試過後，便將所有的製作過程及資料做書面排版，最後完成小論文。

貳、正文

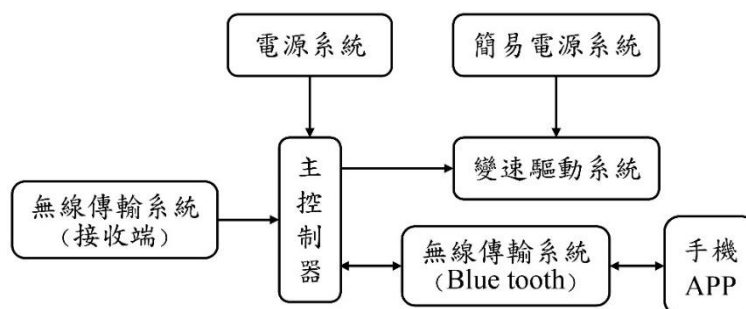
一、系統架構

整體系統分成兩大部份，分為發射端系統，跟接收端系統。(圖一)為發射端系統，其中主控制器是使用 Arduino Nano V3.0 板子，供給其板子的電源系統中有鋰電池(3.7V)、鋰電池充電模組和 DC-DC 升壓模組。控制系統中分別有前變速器按鈕及後變速器按鈕，主控制器將其按鈕控制訊透過無線傳輸系統中 RF 發射模組作傳送。



圖一：發射端系統架構圖
(資料來源：研究者自繪)

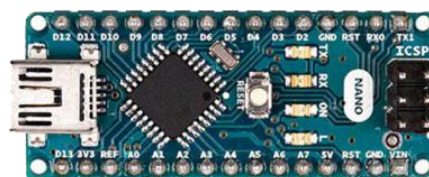
在接收端系統中（如圖二），主控制器為另一塊 Arduino Nano V3.0 的板子，透過無線傳輸系統中的 RF 接收模組作按鈕訊號的接收，進而控制變速驅動系統中前變速器和後變速器的檔位，因為變速系統中有使用到伺服馬達，所以我們必須獨立給它一組簡單的電源系統(18650 電池)。最後主控制器透過無線傳輸系統(藍牙模組)和手機端作資料連線傳輸的動作



圖二：接收端系統架構圖
(資料來源：研究者自繪)

二、硬體介紹

(一) Arduino NANO V3.0



圖三：Arduino NANO V3.0 實體圖

(資料來源：<https://www.taiwaniot.com.tw/product/arduino-nano-v3>)

在這次專題裡我們的主控制器是使用 Arduino NanoV3.0 的板子，因為它的尺寸為：寬 18mm x 高 45mm，體積小很適合塞入我們自行車的手把管中。它雖然是 Arduino Uno 的微型版本。但和 Uno 一樣，核心都是 Atmel ATmega328 微處理器，具有 14 組數位輸出／入腳位，以及 8 組類比腳位，這樣的腳位已經足夠讓我們專題來控制週邊及監測感測器的數值。

(二) NRF24L01



圖四：NRF24L01 實體圖

(資料來源：<https://www.taiwaniot.com.tw/product/nrf24l01>)

NRF24L01 是一款射頻收發器件，主要是使用 SPI 傳輸協定，無線傳輸速率高且功率消耗很低，工作電流只有 9mA，在接收時，工作電流只有 12.3mA。很適合使用在我們專題中，當無線按鈕的訊號傳輸控制變速器的檔位變換。

(三) HC05



圖五：HC05 實體圖

(資料來源：<https://www.taiwaniot.com.tw/product/hc-05>)

我們在騎乘自行車時，會在裝上手機架在握把的橫桿上，如此一來便可在騎乘當中利用手機隨時監控整個自行車系統的狀態，因此我們的微主控器部分需要一個藍牙模組來跟手機做資料的傳輸。

(四) PDI-6225MG-300 度 25 公斤大扭力金屬舵機：PDI-6225MG-300 金屬舵機



圖六：PDI-6225MG-300 金屬舵機

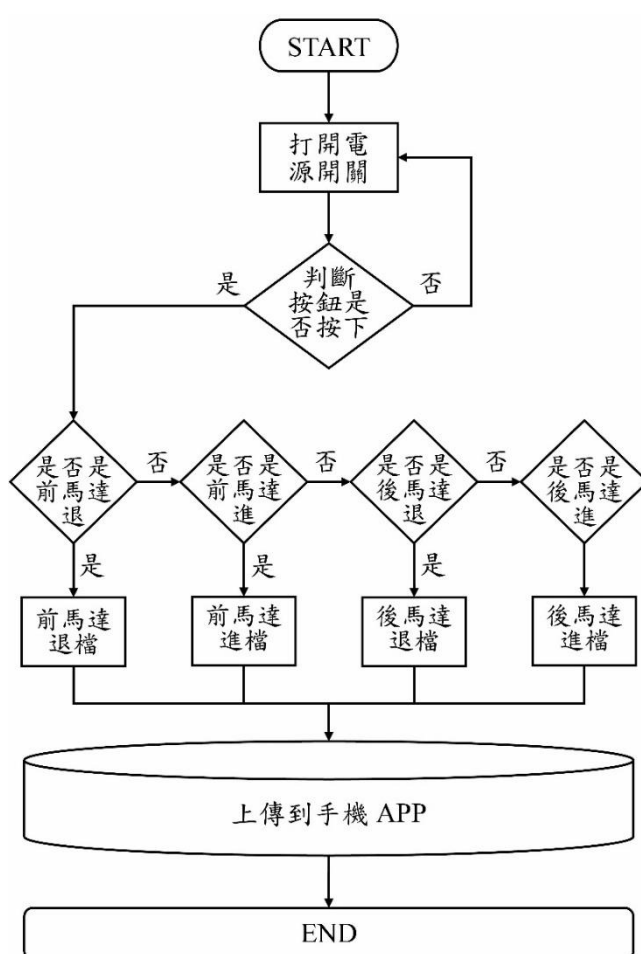
(資料來源：<https://www.ruten.com.tw/item/show?22017468645847>)

在此專題中，我們利用伺服馬達來搭配變速器系統，JX PDI-6225MG-300 具有高扭力且為金屬齒輪伺服器，帶有無鐵心電機和帶滾珠的輸出軸，符合我們 21 段變速系統的動作要求。

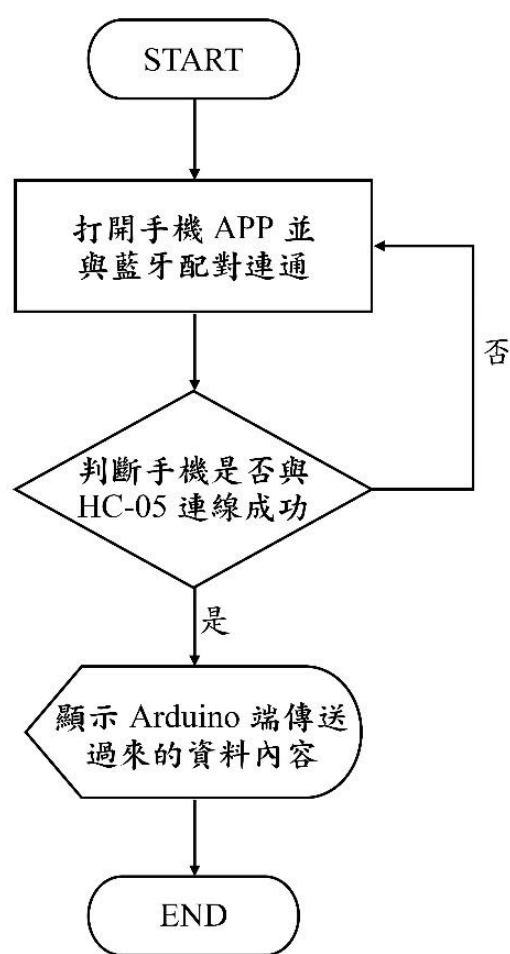
三、系統流程

在 Arduino 端變速驅動的部分主要是利用四顆按鈕，藉由無線傳輸模組傳遞控制信號來驅動伺服馬達動作，使前後變速器達到變檔動作。整體動作流程（如下圖七）所示，首先要打開電源開關，程式會判斷控制按鈕是否有被按下，若沒有被按下則反覆檢查，直到按下之後，系統會判斷是前變速器進檔還是退檔，或是後變速器進檔還是退檔，並將檔位和其他相關數據透過藍牙模組上傳到手機 App 中。

我們利用藍牙模組 HC-05 讓手機端跟 Arduino 主控制器作資料溝通。整個動作流程圖（如下圖八）所示，首先要打開手機端 App 程式讓藍牙連線，接著程式要能夠自行判斷手機是否與 HC-05 模組連線成功，若連線不成功則需重復連線動作，連線成功後，系統要能夠將 Arduino 端的資料數據傳送至手機端作正確的顯示。



圖七：Arduino 端的動作流程圖
（資料來源：研究者自繪）



圖八：手機端的動作流程圖
（資料來源：研究者自繪）

四、手機 App 功能介紹



圖九：手機 App 畫面

（資料來源：由 <http://appinventor.mit.edu> 設計而來）

（一）速度

此功能為了讓騎士方便確認自己目前的時速，進而調整騎乘的節奏，我們利用位置感測器先抓取經度與緯度，當經度與緯度有在移動的狀況下，從位置感測器提取速度之值並乘以 3.6 轉換成 kmh，反之速度則等於 0。

（二）前後變速器檔位顯示

此功能為了方便看到我們目前在第幾檔位，好讓騎乘者規劃接下來如何換檔，我們利用 NANO V3.0 偵測即時檔，位再利用藍牙模組傳輸到手機 App 顯示給騎乘者查看。

（三）電量顯示

不論是 NANO V3.0 或是伺服馬達都是接鋰電池進行運轉，所以目前電池的電量是否能讓元件運轉是很重要的，因此我們利用電壓偵測模組來偵測各電池目前電壓，並利用藍牙模組傳輸到手機 App 顯示，提醒騎乘者是否需要充電或更換電池。

（四）地圖顯示

此功能為了在騎士迷路的過程中能準確知道自己目前的位置，在迷路的當下可以利用路徑規劃找到想到達的目的地之最佳路線。

五、操作步驟

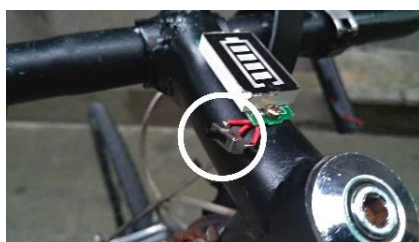
硬體配置（如下圖十）



圖十：硬體配置

（資料來源：研究者拍攝）

（一）打開前後 Arduino 微控制器的電源，如圖十一、圖十二，接著打開前後變速器的電源，如圖十三、圖十四。當所有電源都打開後，接著就是藍牙與手機的連線。



圖十一：前 Nano 板電池開關



圖十二：後 Nano 板電池開關



圖十三：前變速器電池開關



圖十四：後變速器電池開關

（資料來源：研究者拍攝）

（二）開啟自製的手機 App，點擊“Connect”並選取預先命名的 HC-05 藍牙模組進行連線，如圖十五。用來顯示即時訊息其中含有速度、前後變速器檔位顯示、電量顯示及地圖顯示，連接完成後即可開始騎乘。

（三）當所有設定都完成後，即可開始騎乘，當按下變速按鈕時，馬達會因收到之訊號變換角度來進行換檔，手機 App 的變速檔位、時速及各電源電量顯示都會顯示在手機上，如圖十六。



圖十五：藍牙連接畫面
(資料來源：研究者拍攝)

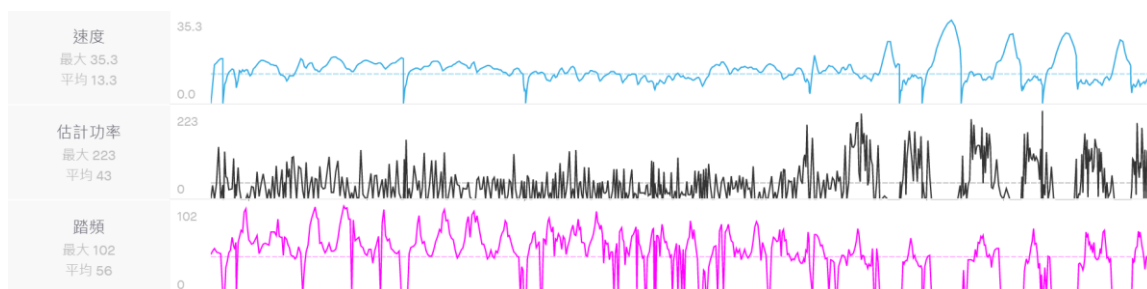


圖十六：變速畫面
(資料來源：研究者拍攝)

六、實際騎乘變速時間測試

本研究為了讓實作成果更加完整，因此進行戶外實際騎乘測試。這次主要的測試是以電子變速器在平地上與上坡路段進行換檔並測試時間。進行這次測試所使用的測試儀器有：Gopro7、Bryton 450 碼表與 Bryton 智慧自行車踏頻感測器。Bryton 是一家專門研製自行車碼表的公司，其碼表也是很多自行車好手幫助訓練的儀器之一。除了自家的碼表能夠顯示迴轉速的數據外，這系統所使用的傳輸系統為 ANT+。ANT+這套無線傳輸系統的特色主要為耗電量低（一顆水銀電池幾乎能操作一年）、體積非常小，以及能夠對應簡單的作業系統，因此運動器材的無線傳輸系統幾乎都以其為主。Bryton 的碼表 Bryton 450 除了能夠計算出踩踏頻率、迴轉速(rpm)、時速(kmh)、能量消耗(kjoules)、距離(km)、時間(t)等等的功能。Bryton 450 這款擁有 GPS 功能的自行車碼表為這次的測試儀器也是因為擁有 ANT+這項傳輸功能，能夠記錄當下踏頻的數據之外，也能夠同時記錄當時的地形海拔高度、路線等其它的資訊數據。

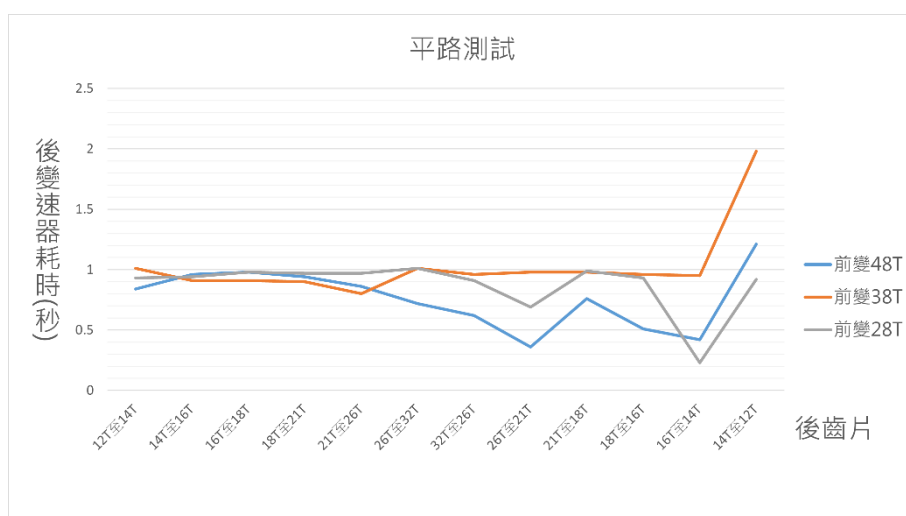
這次的測試主要以在 9km 的路程中頻繁換檔，此路程包含平地與上坡路段。以河濱公園的自行車道進行測試，因為市區交通擁擠，不適合做為測試路段。在無數次的反覆來回騎乘，與測試不同齒比搭配下，騎完全程，並從中完成測試。實際的戶外騎乘會有不同的變數，更實際地呈現電子變速器是否能夠在如此環境與條件下，做出最真實的測試，因為不同的輸出功率將影響鏈條的張力，這也將會間接地影響變速的反應速度與準確度。測試完畢後，利用 STRAVA 可以取得在此段路的騎乘數據，以當下的速度、踏頻與估計功率輸出做為測試後判斷變速的反應區段，(如圖十七所示)。



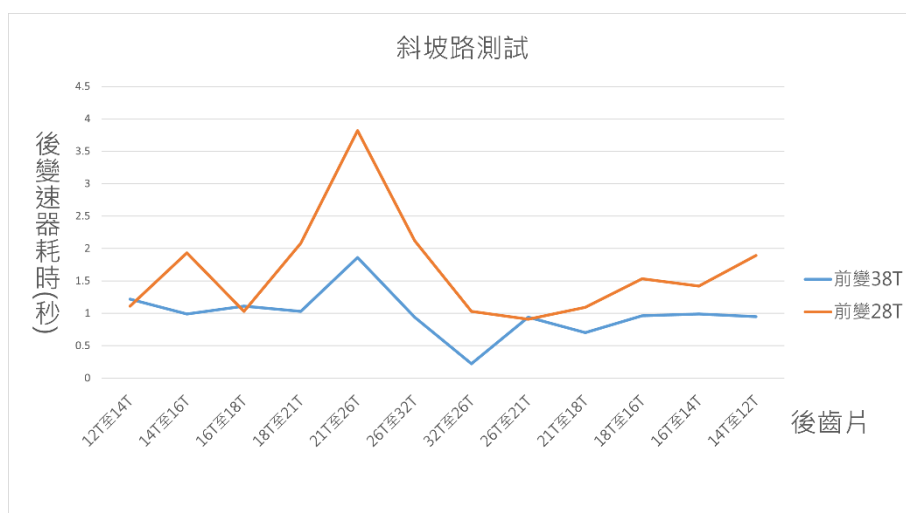
圖十七：速度功率踏頻圖
(資料來源：<https://www.strava.com/?hl=zh-TW> 分析圖)

從（圖十八）、（圖十九）兩圖為縱軸控制前變的齒片數量下，橫軸為各後變換檔之時間，可以很明顯地看出是後變在位於前變不同的檔位所需要的變速時間。以（圖十八）所示，此段的變速時段是對應平路路段（1km~6km）處屬於總路程的前段；以（圖十九）所示，此段的爬坡路段(6km~9km)為路程的後段。斜坡路段測試由於斜坡坡度不一，所以測試的變速時間差距較大。12T 到 32T 的檔位開始做變速的動作時，少許的檔位會因鏈條所處於後齒片的位置（一般稱之為 **chain line**）當鏈條的 **chain line** 位於不同的齒片，加上鏈條以不同齒比所呈現的張力會有所不同，這將會影響後變速器的變速反應時間。

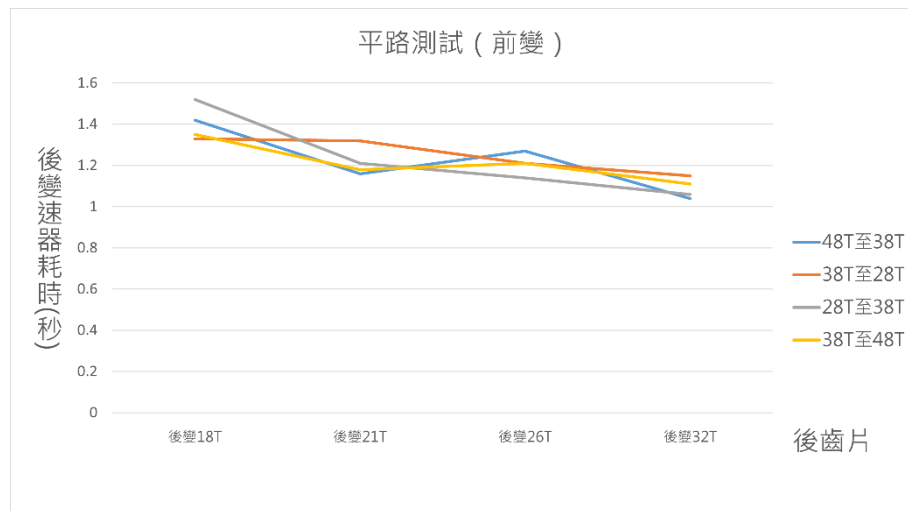
從（圖二十）所示，此圖為橫軸控制後變的齒片數量下，縱軸為各前變換檔之時間，我們測試爬坡最常用的四個檔位，從上圖能看出在後變速器齒比數越少的情況下，因張力越大所以馬達帶動變速器變速的時間愈長，反知齒比數越多則越短。



圖十八：後變平路換檔消耗時間
（資料來源：研究者自繪）



圖十九：後變斜坡換檔消耗時間
（資料來源：研究者自繪）



圖二十：前變平路換檔消耗時間
(資料來源：研究者自繪)

參、結論

由於我們是綜高生，許多實習與專業知識都是在高二才開始接觸，所以這次的專題，我們將高二跟高三所學的技術都使用進去了，這次的實習使我們受益良多。前一年的實習都是依照老師出的題目去接出電路而已，但這次專題讓我們學習到如何將一個完整的作品從無到有的完成，在專題這種沒有範圍的實習裡，也讓我們能有更好的發揮空間與更大的挑戰，而不是被小小的電路所束縛。很高興有專題製作這項課程，讓我們了解到分工合作，以及與人溝通的技巧的重要性，也很感謝能和隊友一起完成這次的專題。

這次的專題中，畢竟有經費上的限制，許多品質較優的材料的金額實在超過預算太多，因此許多功能無法做到非常完善。以電池來說，原本我們希望能用市面上電子變速器用的電池，這樣能夠減少電池的數量，同時能夠大大減少自行車的重量，但一顆就超出經費了。將來如果有辦法做得更完整的話，更換電池一定是當務之急。

一、遇到問題

問題一：Servo 與 RF315 的函式庫相撞

解決方法：一開始在做專題的時候，老師建議我們用 RF315 來寫無線傳輸，所以我們先利用老師的舊材料來做實驗，剛開始我們拿 LED 來做出我們要的結果，然而在搭配伺服馬達的程式後，發現在燒入程式的過程中會發生錯誤，我們上網找資料發現 RF315 所使用的<VirtualWire.h> 函式庫與<Servo.h>有一部份重疊到，所以無法一起使用，我們後來使用 NRF24L01 來解決此問題。

問題二：伺服馬達扭力不足

解決方法：我們原本用的 MG996 運用在後變，因為變速器推到後面會有扭力不足的問題，所以我們更換成 PDI-6225MG 來解決扭力不足。

問題三：該走內線還是外線

解決方法：由於我們用的自行車原本是走外線，如果要改成內線會耗費大量的時間，並沒有孔洞能拉電線，所以我們自己拿電鑽來鑽。

肆、引註資料

趙英傑(2020)。超圖解 **Arduino** 互動設計入門（第 4 版）。臺北市：旗標科技。

楊明豐(2014)。Arduino 最佳入門與應用：打造互動設計輕鬆學。臺北市：碁峰。

楊明豐(2018)。Arduino 物聯網最佳入門與應用：打造智慧家庭輕鬆學。臺北市：碁峰。

NRF24L01 無線收發器模組與 Arduino 通訊實驗（二）：一對一通訊。2020 年 1 月 13，取自
<https://swf.com.tw/?p=1044>

用 2.4G 模塊 NRF24L01 做一個無線遙控開關，遠程控制很方便。2020 年 1 月 13，取自
<https://kknews.cc/zh-tw/digital/n2g33m2.html>

LessonStudio/的 Arduino_NRF24L01。2020 年 1 月 13，取自
https://github.com/LessonStudio/Arduino_NRF24L01/blob/master/Arduino_NRF24L01_Transmit/Arduino_NRF24L01_Transmit.ino

NRF24L01 無線收發器模塊如何與 ARDUINO 配合使用。2020 年 1 月 13，取自
<https://mytectutor.com/how-the-nrf24l01-wireless-transceiver-module-works-with-arduino/?fbclid=IwAR0hFylw67XEJa4OdWXraqpiMVtikMAA-ms9QFpWZ8kEu6UMX1GoGtlCkHQ>

一次性電池電量測量裝置。2020 年 1 月 13，取自
<https://www.arduino.cn/thread-19325-1-1.html>