

淡 江 大 學 電 機 工 程 系

專題實驗報告

模組化夾爪系統之研製

指導教授：翁慶昌 博士

研究生：張瀚升、林羿丞、游立得

專題生：陳少瑜、林倪敬

中 華 民 國 一 ○ 四 年 十 月

---

---

# 目錄

目錄.....	I
圖目錄.....	IV
表目錄.....	VIII
第 1 章 緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機.....	2
1.3 專題架構.....	3
第 2 章 第五代夾爪系統架構.....	4
2.1 實驗室夾爪系統介紹.....	4
2.2 第五代夾爪系統架構.....	7
2.2.1 ATmega328 微控制器.....	7
2.2.2 直流馬達.....	8
2.2.3 編碼器.....	10
2.2.4 光電感測器.....	11
第 3 章 第五代夾爪機構設計.....	12

---

3.1 第五代夾爪傳動機構.....	12
3.2 第五代夾爪機構外型.....	19
第 4 章 第五代夾爪電路設計.....	20
4.1 訊號控制區塊.....	20
4.2 轉壓電路板.....	23
4.3 燒錄晶片電路.....	24
4.4 電流感測器.....	25
4.5 馬達驅動電路.....	25
第 5 章 夾爪模組化.....	27
5.1 模組化夾爪介紹.....	27
5.1.1 氣動夾爪模組.....	27
5.1.2 電動夾爪模組.....	28
5.1.3 大型夾爪.....	29
5.2 第五代第二版夾爪模組化之機構實現.....	29
5.2.1 快速接頭.....	30
5.2.2 機構開孔.....	31
5.2.3 24V 馬達.....	32

---

5.2.4 螺桿滑塊轉接板更新.....	33
5.3 第五代第二版夾爪模組化之電路實現.....	35
5.3.1 尺寸 .....	36
5.3.2 馬達控制器與降壓電路.....	38
5.3.3 微電腦控制器 .....	39
5.3.4 USB 與 TTL 轉換.....	39
第 6 章 結論與未來展望.....	41
參考文獻.....	I
成員分工.....	II

---

---

## 圖目錄

圖 2.1、第五代夾爪系統的架構圖.....	7
圖 2.2、ATmega328 微控制器腳位圖.....	8
圖 2.3、無鐵芯微型直流有刷馬達 2642W024CR 的實體圖.....	9
圖 2.4、光電盤 AB 相訊號(正轉)示波器圖.....	10
圖 3.1、機構設計流程圖.....	12
圖 3.2、第一代夾爪系統.....	13
圖 3.3、第二代夾爪系統.....	13
圖 3.4、第三代夾爪系統.....	13
圖 3.5、第四代夾爪系統.....	13
圖 3.6、第五代夾爪系統之傳動機構.....	14
圖 3.7、第五代夾爪系統安裝在機械手臂上的位置圖.....	15
圖 3.8、皮帶輪示意圖.....	16
圖 3.9、皮帶輪及皮帶長度參數圖.....	17

---

圖 3.10、線性滑軌爆炸視圖 .....	17
圖 3.11、第五代夾爪傳動機構示意圖 .....	18
圖 3.12、線性滑軌安裝圖 .....	18
圖 3.13、第五代夾爪的(a)3D CAD 圖及(b)實體圖 .....	19
圖 4.1、第五代夾爪電路 .....	20
圖 4.2 夾爪訊號電路 .....	21
圖 4.3、ULN2803 8-bit 開集極驅動器 .....	21
圖 4.4、轉壓電路板 .....	23
圖 4.5、APW7080 晶片 .....	23
圖 4.6、燒錄晶片電路 .....	24
圖 4.7、FT232 晶片 .....	24
圖 4.8、電流感測器 .....	25
圖 4.9、馬達驅動電路 .....	26
圖 5.1、氣動二指平動夾爪 .....	27
圖 5.2、氣動三指定心夾爪 .....	27

---

---

圖 5.3、電動二指夾爪.....	28
圖 5.4、電動二指平動夾爪.....	28
圖 5.5、電動三指夾爪.....	28
圖 5.6、電動三指平動夾爪.....	28
圖 5.7、大型兩指平動夾爪.....	29
圖 5.8、ZZ061 快速接頭.....	30
圖 5.9、快速接頭安裝圖.....	30
圖 5.10、Solidworks 示意圖.....	31
圖 5.11、實際圖與 Solidworks 示意圖對照.....	31
圖 5.12、Faulhaber 2642W024CR 直流馬達.....	33
圖 5.13、舊版螺桿滑塊轉接板.....	34
圖 5.14、新版螺桿滑塊轉接板.....	35
圖 5.15、第五代夾爪系統第一版.....	36
圖 5.16、第五代夾爪系統第二版.....	36
圖 5.17、Arduino UNO 開發板.....	38

---

---

圖 5.18、馬達驅動模組.....	38
圖 5.19、Arduino NANO 開發板.....	39
圖 5.20、USB 種類介紹 .....	40





---

---

## 表目錄

表 2.1、實驗室歷年所研製的夾爪系統表.....	5
表 2.2、實驗室歷年所研製機械夾爪所使用四款馬達類型的特性表 .....	6
表 2.3、無鐵芯微型直流有刷馬達 2642W024CR 的規格[6].....	9
表 2.4、磁性編碼器 IE2-16 的規格.....	11
表 2.5、光電感測器 PM-K24 的規格.....	11
表 4.1、ATmega328 微控制器腳位功能圖表.....	22
表 4.2、馬達驅動器規格.....	26
表 5.1、Faulhaber 2342S012CR 直流馬達規格 .....	32
表 5.2、Faulhaber 2642W024CR 直流馬達規格 .....	33
表 5.3、實驗室第五代夾爪比較.....	37
表 5.4、USB 腳位介紹 .....	40

---

# 第1章 緒論

## 1.1 研究背景

隨著科技的進步，自動化的應用已經非常廣泛，而自動化機械手臂是工業上最常應用的領域，由於機械手臂可以執行複雜且負重的工作，早期的機械手臂多用於汽車裝配、焊接、及檢測等工作。目前業界已將機械手臂應用在大部分的傳統勞力與重複性工作，例如 3C 產品製造生產、拋光研磨、塗膠焊接、噴漆塗佈、加工切削、產品裝配、及精密組裝等比較枯燥且相對簡單的重複性作業程序。幾年隨著機械自動化產業的發展快速，機械手臂的精密度不斷提高，機械手臂的應用面也逐漸從工業擴展至娛樂業、軍事、醫療等領域。例如使用機械手臂來彈鋼琴、輔助醫生進行外科手術，亦或是結合影像技術訓練飛機駕駛員模擬駕駛飛機。一台機械手臂有幾個重要的指標，像是負重能力、重複精準度、剛性穩定度、安全性、及在長時間工作下的耐久性，希望讓其在無人工作環境下也可順利完成工作，而在工作場所保證工作人員與周邊機械設備的安全。在 2013 年工業技術研究院的一份「製造業機器人自動化應用趨勢」[1]的報告中提到，在過去的製造業機器人應用目的多在於解決固定工件的處理或者任務固定的自動化，然而，在自動化機械系統的使用彈性上，又以機械手臂最為多樣化，因此，使用機械手臂執行生產線上的組裝工作，不但可以取代逐漸升值的人力成本，還可以在不更換機台

---

的條件下，對不同的生產流程做出適當的搭配，因此必須具備更高的智慧去滿足可調整與重組的彈性自動化生產線，所以希望將原本僵固的生產結構能轉型至模組化且高效率的系統[2]。目前較知名的工業機械手臂公司有德國的 KUKA 公司、瑞士的 ABB 公司和日本的 FUNUC 公司等等。


## 1.2 研究動機

夾爪是機械手臂的一大重點，是機械手臂末端的機構，為了要滿足夾取物體形狀、重量、大小的不同，需要選擇適合的夾爪，才能達到最有效的結果，依據德國工業 4.0 的概念，全球製造業展望未來可以快速調整自動化生產系統，與過去固定工作的製造業機器人應用不同，為了自動化機械系統更換速度快速，更換夾爪為最快速且方便的選擇，因此，使用模組化夾爪的機械手臂執行生產線上的組裝工作，不但可以取代逐漸升值的人力成本，還可以在不更換機台的條件下，對不同的生產流程做出適當的搭配，所以機械手臂必須具備更高的智慧去滿足可調整與重組的彈性自動化生產線。然而，為了滿足可適應各種不同的產品而必須調整現有的生產流程，做法為加入模組化概念，由於近年來製造產業開始走向少量多樣化及大量客製化的生產模式，且現代生產製造技術隨著各種精密機構及設備的發展與應用不斷突破，使製造產業業者在生產線的建構與選擇更為多元化。但在人力成本提高、原物料上漲的經濟趨勢及生產成本降低、生產週期縮短...等壓力下，生產線已逐步朝著省時、省力及自動化的方向發展。因此，將模組化理論導入生產製造體系則是

工業發展的一項技術革新[3]，亦是一種能適應現今市場競爭力的生產模式，更是企業追求大量客製化時代下規模經濟的有力手段。

### 1.3 專題架構

本專題架構總共有六個章節。第一章為緒論，介紹研究背景、動機、及專題架構。第二章主要介紹實驗室歷年的夾爪系統架構，並且比較歷年夾爪的差別。第三章及第四章分別介紹模組化夾爪機構及電路設計。第五章為本專題之重點核心：說明何謂模組化夾爪，為何要將夾爪模組化，並且比較第五代夾爪第一版及第二版的差異及對機械手臂的影響。第六章為本專題的結論與未來展望。



---

## 第2章 第五代夾爪系統架構

### 2.1 實驗室夾爪系統介紹

實驗室於 2011 年開始設計開發機械手臂，並且開發夾爪系統，目前實驗室已先後完成的六款夾爪，如表 2.1 所示。夾爪為機械手臂末端的執行器，因此在設計上必須要考慮機械手臂可以負載的重量以及要夾取工件物的形狀與大小。由於實驗室所參加的比賽越來越要求夾爪的精準度、開合時間、及重量，要更為的精準、速度要更快、及重量要更輕的需求，但凡是都沒有完美，因此從第一代夾爪系統使用步進馬達至第五代夾爪系統第二版使用直流有刷馬達，每一代夾爪系統的數據跟之前相比會有所提升也有所犧牲，其馬達的比較如表 2.2 所示。第五代夾爪系統第二版重量輕、模組化、速度快、及準確率高等，是目前最符合實驗室機械手臂要完成上銀智慧機器手競賽中各項任務的需求，跟第四代夾爪系統相比減輕了重量及加長開合行程，重量的減輕是為了降低機械手臂的負擔，不會因為夾爪的重量太重，導致各軸馬達的使用壽命減短。跟第三代夾爪系統相比不但加快了開合速度及降低運作時的噪音更將電路整合在夾爪的機構裡面，完成模組化使夾爪系統可以更好維修，也在 2015 年第八屆上銀智慧機器手競賽中獲得兩個分項冠軍並得到總冠軍。

表 2.1、實驗室歷年所研製的夾爪系統表

第一代夾爪系統		
開發時間	2011/07	
尺寸	215mm(長)×60mm(寬)×130mm(高)	
重量	1kg	
開合行程	100mm	
開發板	DE0 FPGA 開發板	
致動器	步進馬達	
參與競賽	2011 年第四屆上銀智慧機器手競賽佳作	
第二代夾爪系統		
開發時間	2012/05	
尺寸	105mm(長)×55mm(寬)×210mm(高)	
重量	0.7kg	
開合行程	85mm	
開發板	8051 單晶片	
致動器	直流無刷馬達	
參與競賽	2012 年第五屆上銀智慧機器手競賽	
第三代夾爪系統		
開發時間	2013/05	
尺寸	146mm(長)×68mm(寬)×75mm(高)	
重量	0.6kg	
開合行程	95mm	
開合速度	40mm/s	
開發板	Arduino-UNO	
致動器	直流有刷馬達	
參與競賽	2013 年第六屆上銀智慧機器手競賽亞軍	
第四代夾爪系統		
開發時間	2014/03	
尺寸	90mm(長)×50mm(寬)×85mm(高)	
重量	0.8kg	
開合行程	50mm	
開合速度	100mm/s	
開發板	DE0-Nano	
致動器	音圈馬達	

第五代夾爪系統第一版	
開發時間	2014/07
尺寸	156mm(長)×68mm(寬)×88mm(高)
重量	0.7kg
開合行程	100mm
開合速度	50mm/s
開發板	Arduino-UNO
致動器	直流有刷馬達 12V
參與競賽	2014 年第七屆上銀智慧機器手競賽總冠軍

第五代夾爪系統第二版	
開發時間	2015/07
尺寸	156mm(長)×68mm(寬)×88mm(高)
重量	0.7kg
開合行程	100mm
開合速度	50mm/s
開發板	自行開發(使用 ATmega328 晶片)
致動器	直流有刷馬達 24V
參與競賽	2015 年第八屆上銀智慧機器手競賽總冠軍

表 2.2、實驗室歷年所研製機械夾爪所使用四款馬達類型的特性表

夾爪	第一代夾爪系統	第二代夾爪系統	第三代夾爪系統 第五代夾爪系統	第四代夾爪系統
馬達類型	步進馬達	直流無刷馬達	直流有刷馬達	音圈馬達
公司	紫盛公司	Novatech 公司	Faulhaber 公司	Aceel 科技公司
優點	1.馬達步進角固定 2.扭力大 3.價格便宜	1.調速範圍寬 2.轉矩特性優異 3.高效率、省電	1.閉迴路控制 2.容易控制 3.精密定位	1.閉迴路控制 2.容易控制 3.速度快
缺點	1.馬達體積大 2.容易失步 3.開迴路控制	1.不易控制 2.驅動器體積大 3.價格昂貴	1.扭力小 2.碳刷會耗損 3.不適用高溫	1.扭力小 2.重量重 3.價格昂貴

## 2.2 第五代夾爪系統架構

第五代夾爪系統的架構圖如圖 2.1 所示，主要的系統控制流程從 ATmega328 微控制器開始，ATmega328 微控制器會讀取直流馬達編碼器 (Encoder) 的回授來測量目前直流馬達的所在位置，以及光電感測器 (Photoelectric Sensor) 來感測直流馬達帶動的夾指是否會與其他機構碰撞以及直流馬達位置的歸零校正，在 ATmega328 微控制器內編寫了一個夾爪控制器會根據電腦送的夾爪命令轉換成直流馬達要移動的距離去改變 PWM (Pulse Width Modulation) 模組的工作週期寬度的大小，來控制直流馬達的速度。第五代夾爪系統的硬體設備主要可以分為 4 個部分：(1) ATmega328 微控制器、(2) 直流馬達 (DC Motor)、(3) 編碼器 (Encoder)、及 (4) 光電感測器 (Photoelectric Sensor)。分別在 2.2.1 節至 2.2.4 節介紹如下：

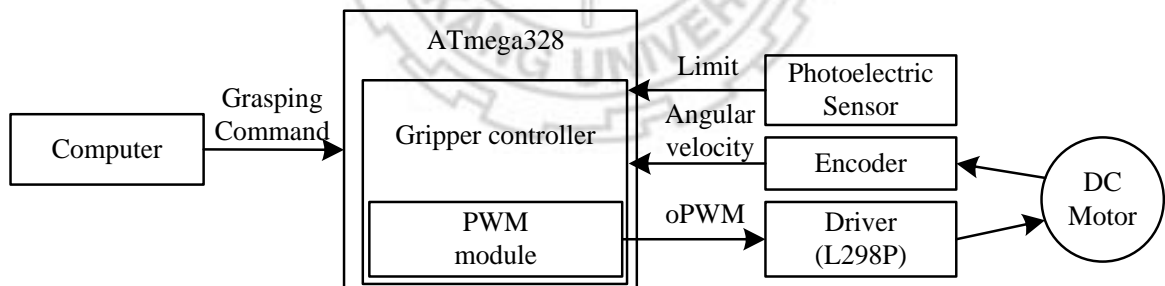


圖 2.1、第五代夾爪系統的架構圖

### 2.2.1 ATmega328 微控制器

ATmega328 微控制器[4]，是 Atmel 公司所開發的微電腦晶片，此晶片有許多的 I/O 腳位可以讀取數位及類比訊號也可以傳輸數位及 UART



訊號，另外此晶片有兩種封裝模式，分別為 ATmega328PU 雙列直插式 28pin 晶片及 ATmega328AU 貼片式 32pin 晶片如圖 2.2 所示，而第五代夾爪電路第二版所使用的是 ATmega328AU 貼片式的晶片，如此一來可以縮小電路體積，又可以增加 I/O 腳位。

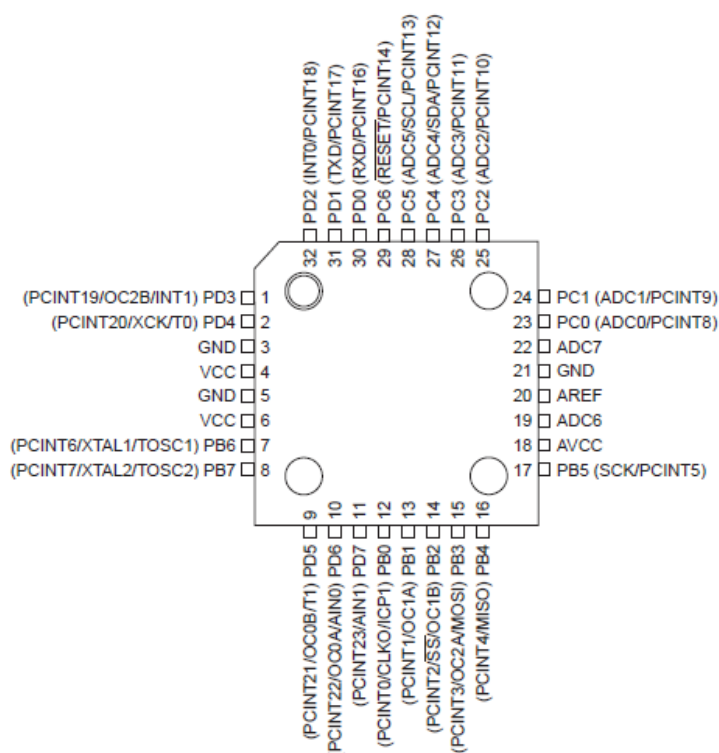


圖 2.2、ATmega328 微控制器腳位圖

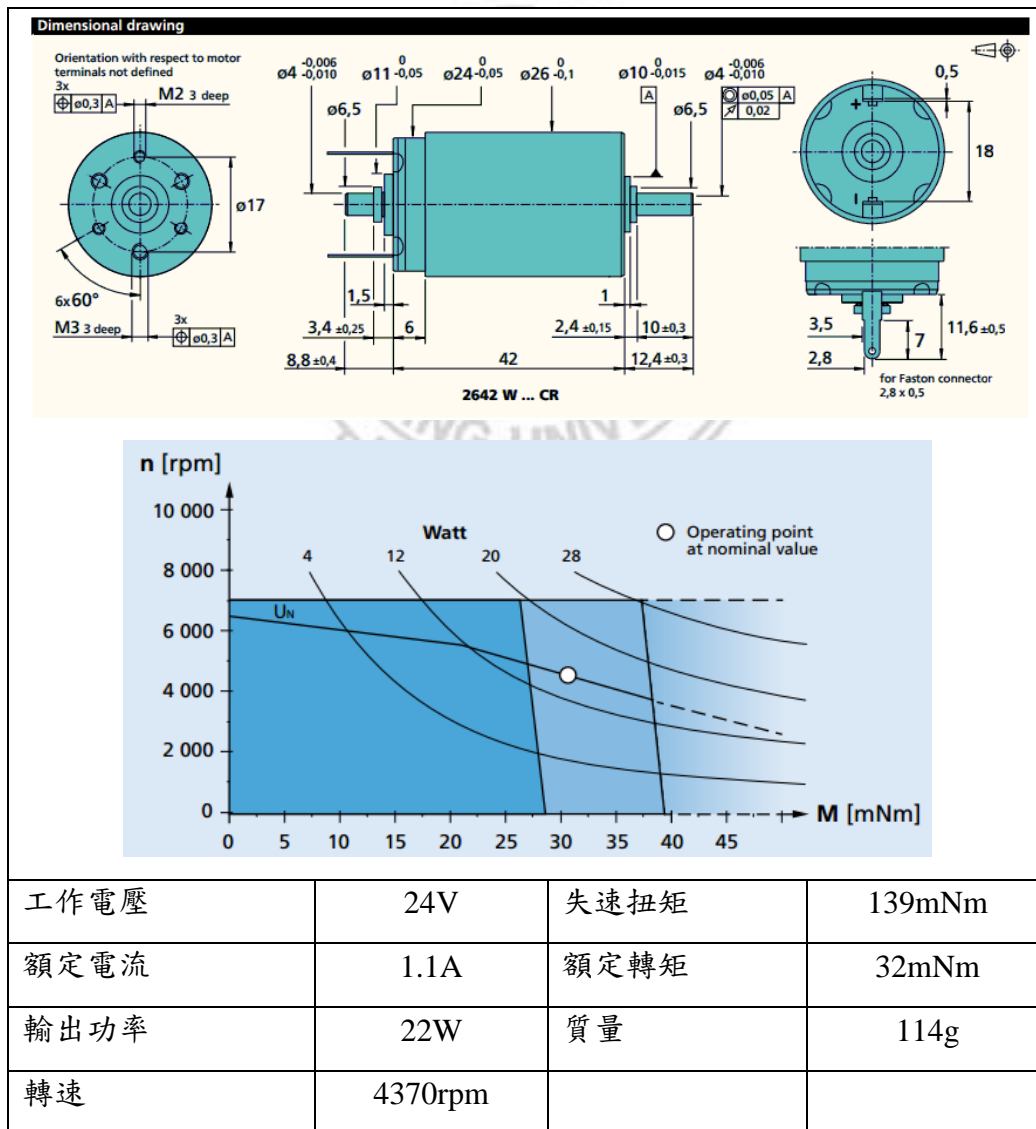
## 2.2.2 直流馬達

本專題選用德國 Faulhaber 公司所生產之型號為 2642W012CR 的無鐵芯微型直流馬達[5]，此革命性的創新發明，改變了傳統永久磁鐵直流馬達的應用，其特點為體積小、功率高、低慣性、快速啟動、精密定位、電壓與轉速及電流與轉矩的關係呈線性關係，再加上壽命長的優點，實現了微型化精密機電控制的可能性，其實體如圖 2.16 所示，規格與特性如表 2.4 所示。



圖 2.3、無鐵芯微型直流有刷馬達 2642W024CR 的實體圖

表 2.3、無鐵芯微型直流有刷馬達 2642W024CR 的規格[6]



### 2.2.3 編碼器

編碼器是使用磁場來感測馬達轉子的位置，並將位置轉換為類比或是數位訊號後輸出給控制器計算。

第五代夾爪的程式是以 Arduino 來作設計，設計此夾爪來對應上銀智慧機器手的比賽項目，當夾爪夾到東西時，夾爪會停止閉合，張開至極限或關閉時亦會停止。利用光電編碼器去計算馬達的步數，程式會一直接收來自編碼器的訊號。光電編碼器主要是利用兩組光電盤相位相差 90 度來判斷並計算直流馬達的正反轉和步數，如圖 2.4 所示，當傳送馬達命令的時候，就可計算出夾爪需要移動到什麼位置，因此我們利用限制移動的最大步數來判斷夾爪是否已經達到計算的位置，而開至極限則是透過光電感測器的訊號來做判斷。本專題使用的編碼器為德國 Faulhaber 公司所生產之型號為 IE2-16 的磁性編碼器，規格如表 2.4 所示。

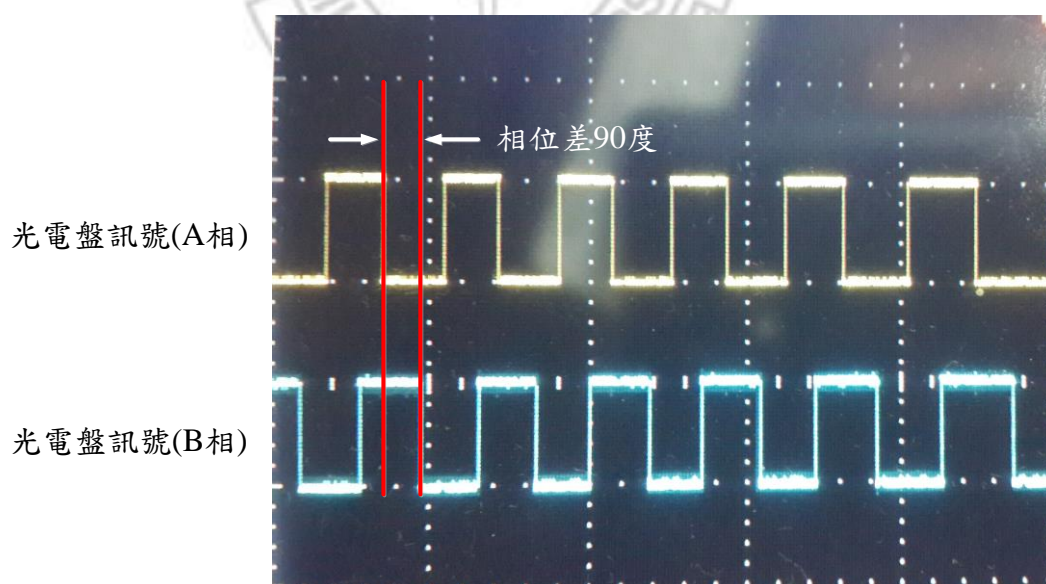
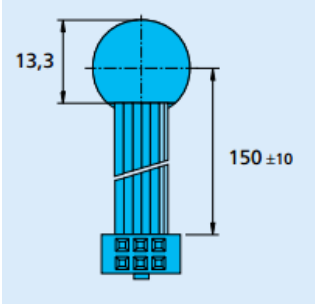


圖 2.4、光電盤 AB 相訊號(正轉)示波器圖

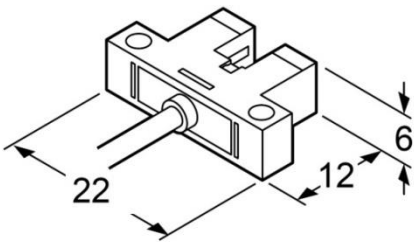
表 2.4、磁性編碼器 IE2-16 的規格

	
Supply Voltage	4.5-5.5V
Accuracy	0.703°

## 2.2.4 光電感測器

光電感測器是用來限制夾指機構移動的範圍，防止夾指機構超出最大工作範圍而受損，本專題使用的光電感測器為日本 Panasonic 公司所生產之型號為 PM-K24 的光電感測器，規格如表 2.5 所示。

表 2.5、光電感測器 PM-K24 的規格

	
Supply Voltage	5V
Current consumption	15mA
Response time	20us

## 第3章 第五代夾爪機構設計

本專題所設計之第五代夾爪的機構設計流程如圖 3.1 所示。首先要先訂定夾爪開合行程、速度及扭力的規格，再配合扭力訂定材料的種類，並蒐集夾爪所需使用市購件的型錄，都確定好後開始繪製 3D CAD 圖，將繪製好的 3D CAD 圖進行應力分析，確認所設計的結構是否有符合需求，以及各個零件在組裝之後是否會干涉以及餘隙過大等問題。若符合所訂定的規格，再繪製工程圖與加工廠討論加工的可能性，來完成所有的組件。

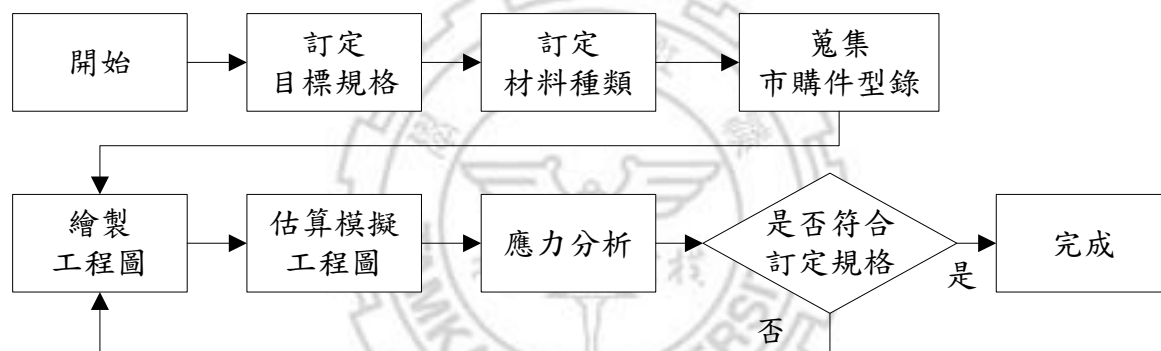


圖 3.1、機構設計流程圖

### 3.1 第五代夾爪傳動機構

在第一代夾爪系統中使用螺桿作為傳動機構，螺桿設計一邊為正牙，一邊為反牙使得夾指可以平行開合，如圖 3.2 所示。第二代夾爪系統利用螺桿與連桿使得夾指可以平行開合運動，如圖 3.3 所示。第三代夾爪系統因為馬達的扭力不足，因此設計一個 1 比 6 的齒輪箱，再利用螺桿使得夾指可以平行開合運動，如圖 3.4 所示。第四代夾爪系統，因為音圈馬達為一種直線傳動的馬達，所以傳動機構是以齒輪、螺桿以及連桿的

搭配，使得夾爪能夠平行開合，如圖 3.5 所示，本論文在第五代夾爪系統中使用皮帶輪來帶動螺桿使得夾指可以平行開合運動並減少運轉時的噪音，如圖 3.6 所示。

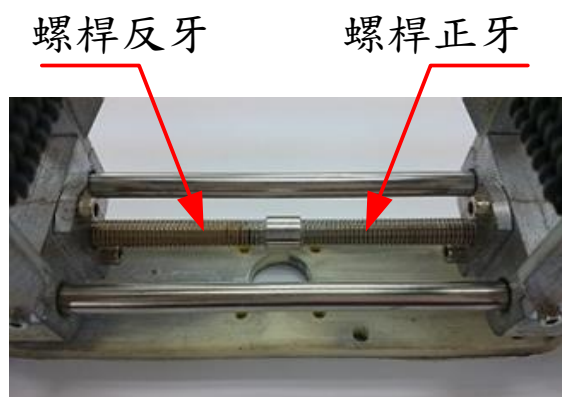


圖 3.2、第一代夾爪系統  
傳動機構

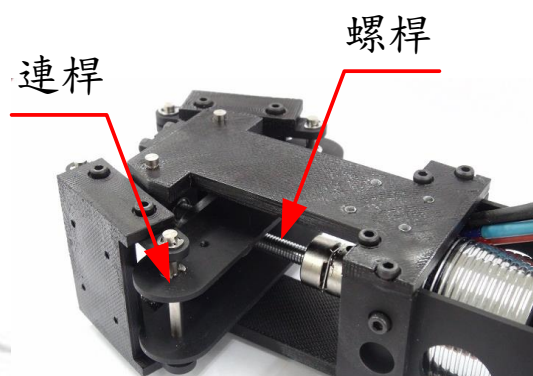


圖 3.3、第二代夾爪系統  
傳動機構

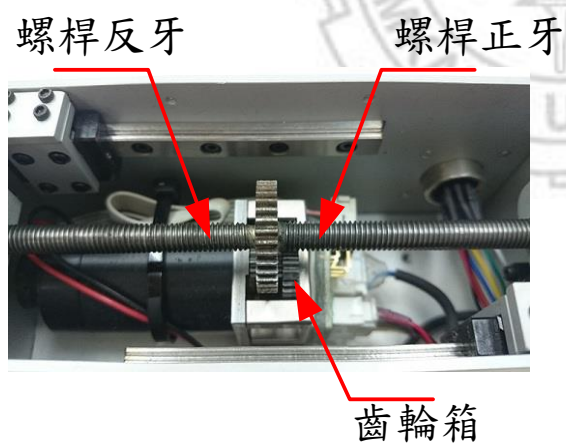


圖 3.4、第三代夾爪系統  
傳動機構



圖 3.5、第四代夾爪系統  
傳動機構



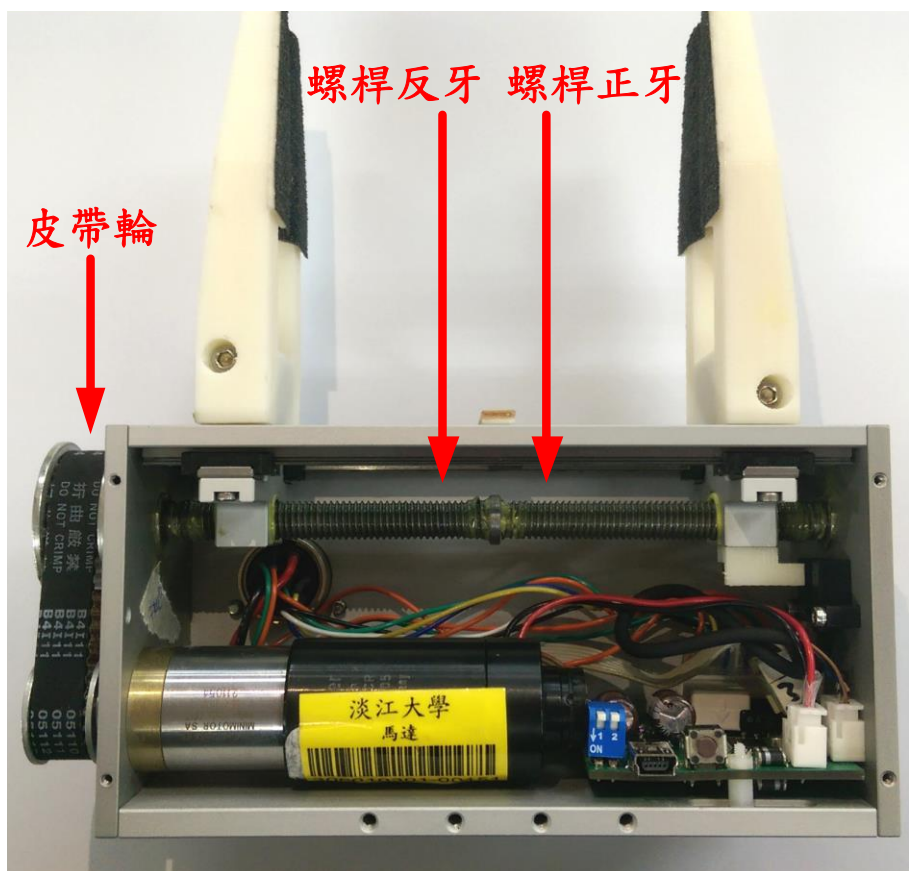


圖 3.6、第五代夾爪系統之傳動機構

第五代夾爪系統與前面四代夾爪系統最大的不同就是第五代的夾爪系統是採用模組化的方式來設計，以往都是將夾爪機構安裝在機械手臂的末端點，而夾爪電路則安裝在機械手臂的小臂上，如圖 3.7 所示，這會導致在設計機械手臂時還要留空間給夾爪電路，為了改善這個問題，必須將夾爪電路放進夾爪機構裡面，如圖 3.6 所示。所以在設計夾爪機構時需要留出電路的空間，而電路的體積也要縮小到符合機構，如此以達到模組化的目標。

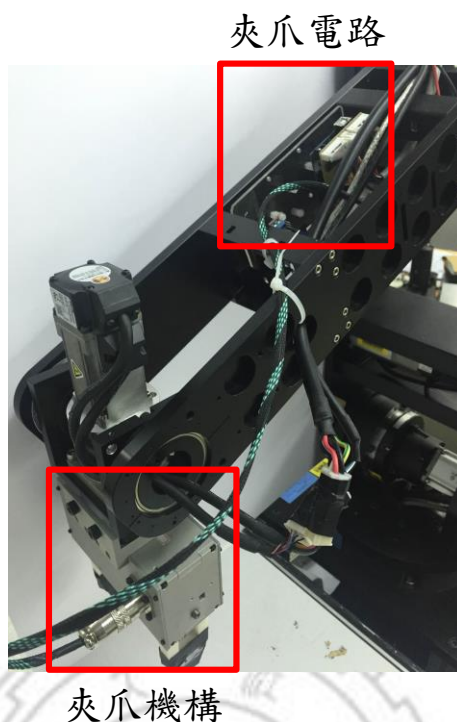


圖 3.7、第五代夾爪系統安裝在機械手臂上的位置圖

本專題所使用的傳動機構為皮帶輪、螺桿及滑軌。皮帶輪是在平行的兩軸之間以旋轉的方式帶動皮帶來傳遞動力，因為可以作長距離的傳輸所以廣泛的應用在動力傳動上，皮帶輪的傳動比可分為減速傳動與增速傳動，減速傳動，皮帶輪一為驅動輪，皮帶輪二為被動輪，增速傳動，皮帶輪二為驅動輪，皮帶輪一為被動輪，如圖 3.8 所示。 $T$  為傳動比， $N_2$  為被動輪的齒數， $N_1$  為驅動輪的齒數，傳動比的計算公式如式 3.1：

$$T = \frac{N_2}{N_1} \quad (3.1)$$



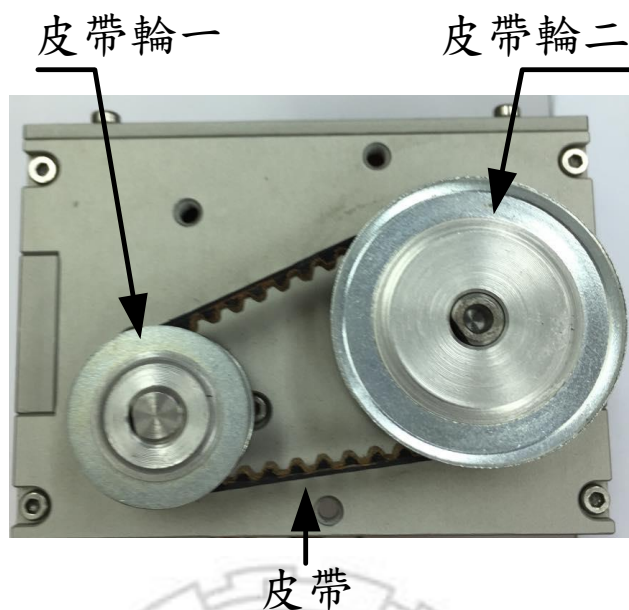


圖 3.8、皮帶輪示意圖

在皮帶輪傳動的設計中模數  $m$ 、齒數  $N$ 、節圓直徑  $D$ 、中心距  $C$  及皮帶長度  $L$  是相當重要的，首先要先決定好傳動比，之後決定兩個皮帶輪的齒數及模數，利用式 3.2 及 3.3 求出節圓直徑後，再依照機構決定兩軸的中心距及式 3.4 來求出皮帶的長度，如圖 3.9 所示，根據市售的長度，挑選最相近的皮帶，最後在調整中心距來符合市售皮帶的長度。

$$m = \frac{D}{N} \quad (3.2)$$

$$D = m \times N \quad (3.3)$$

$$L = \frac{\pi}{2}(D + d) + \theta(D + d) + 2C \cos \theta \quad (3.4)$$

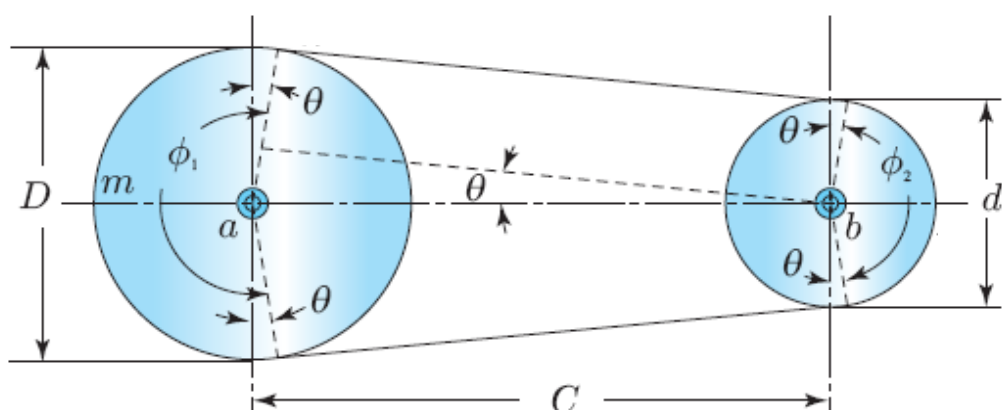


圖 3.9、皮帶輪及皮帶長度參數圖

線性滑軌基本上由滑軌及滑塊兩大部分組合而成，如圖 3.10。主要裝置在機械中需要達成直線運動的場合，如機械手臂夾爪部分。



圖 3.10、線性滑軌爆炸視圖

滑軌與螺桿組合成一個直線運動組合，一支螺桿在中間，兩支滑軌在兩側，三支成平行狀態，然後共同鎖在一個平台，螺桿一端聯結伺服

馬達，當馬達轉動時帶動螺桿旋轉，平台即會成直線移動，如圖 3.11 所示。而滑軌的功能主要是讓此平台保持高精密、高剛性、高荷重的移動。

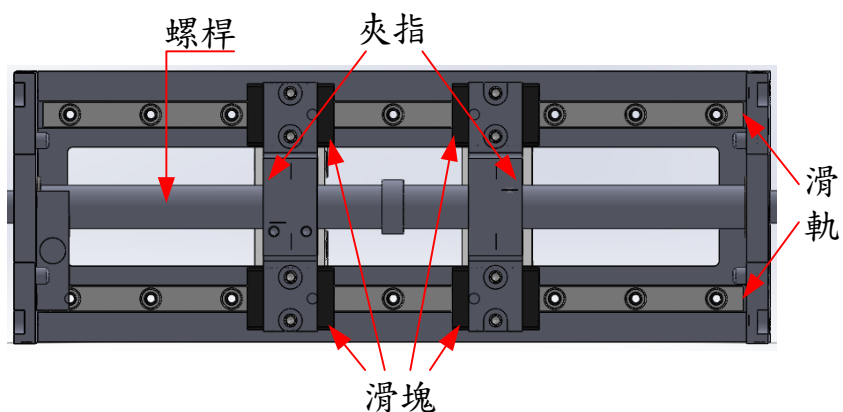


圖 3.11、第五代夾爪傳動機構示意圖

第五代夾爪是利用螺桿和滑軌來帶動夾指平行開合，為了讓螺桿在夾指平行開合時不承受會影響夾爪傳輸效率的徑向力，單純承受軸向力，因此設計了兩條滑軌搭配滑塊來承受平行開合時的徑向力，並且在夾指上使用兩個滑塊來完全抵銷徑向力，提升其平行開合時的穩定性，如圖 3.12 所示。

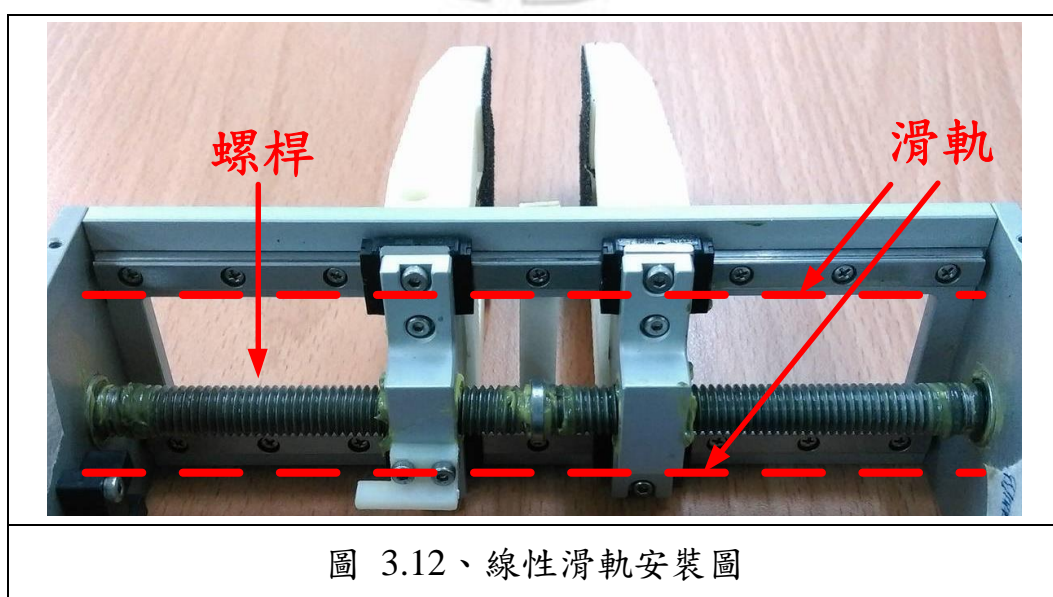
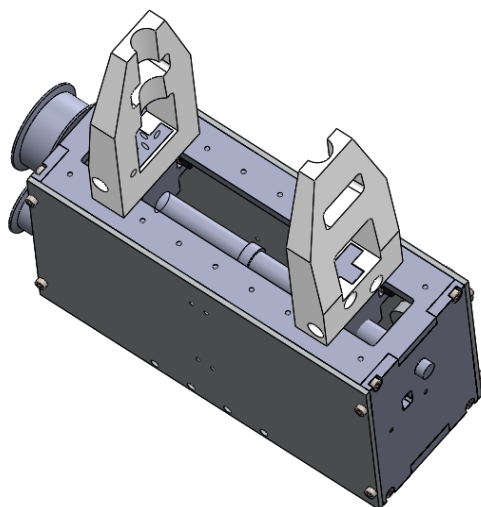


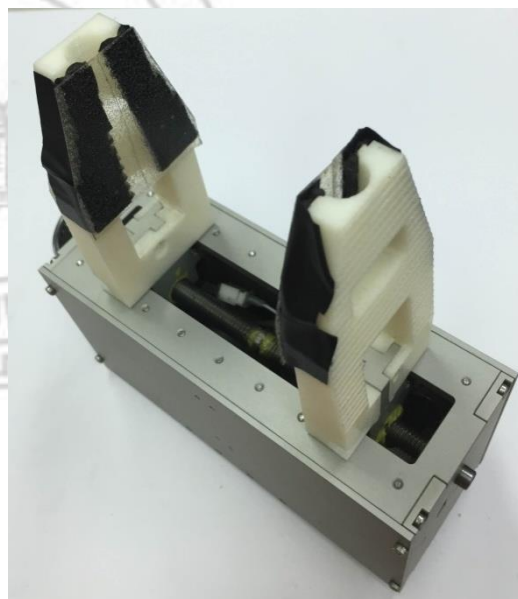
圖 3.12、線性滑軌安裝圖

## 3.2 第五代夾爪機構外型

設計完傳動機構之後，再利用 SolidWorks 繪圖軟體繪製 3D CAD 圖，該草圖會依據各個挑選好的馬達的大小以及位置的配置來繪圖。並且利用 SolidWorks 繪圖軟體檢查繪製出來的 3D CAD 圖，檢查市購材料與設計零件的形狀、大小是否符合所要的尺寸、餘隙、干涉、孔位以及安裝方式等，將檢查完確認沒有任何不符合上述的條件。接下來繪製工程圖，將工程圖送到工廠加工，材質選用 6061 鋁合金以 CNC 銑床加工製作各部分零件，並且經過陽極處理，如圖 3.13 第五代夾爪的 3D CAD 圖及實體圖所示。



(a) 3D CAD 圖



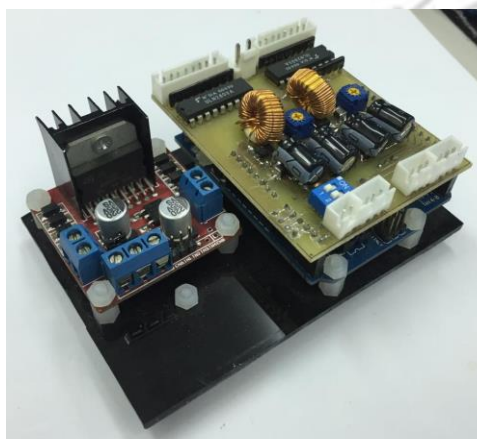
(b) 實體圖

圖 3.13、第五代夾爪的(a)3D CAD 圖及(b)實體圖

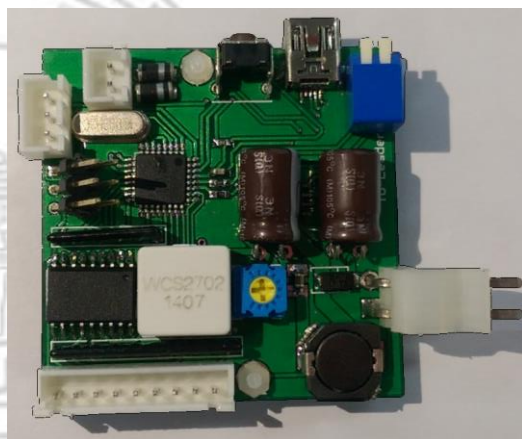


## 第4章 第五代夾爪電路設計

第五代夾爪電路如圖 4.1 所示，為了要符合夾爪模組化的設計，夾爪電路由圖 4.1(a)改良成(b)，其中將訊號與轉壓電路板、電流感測器、馬達驅動電路及 ATmega328 微控制器整合成單層電路，如此一來夾爪電路就能放進夾爪機構內部，並且加入電流感測器，感測馬達工作電流，達到夾爪模組化的目標。夾爪控制的硬體電路主要可以分為 5 個部分：訊號控制區塊、轉壓電路、燒錄晶片電路、電流感測器、及馬達驅動電路，分別在 4.1 節至 4.5 節介紹如下：



(a) 第一版



(b) 第二版

圖 4.1、第五代夾爪電路

### 4.1 訊號控制區塊

設計將訊號控制區塊擺放同一區域，利用鋪銅的方式隔開電源區塊，如此便能避免接觸到電源區塊，產生訊號干擾，如圖 4.2 所示，由 ATmega328 微控制器及 ULN2803 8-bit 開集極驅動器組成，如圖 2.2 及圖 4.3 所示。由於電腦的 I/O 傳送出來的夾爪命令電壓為 24V 訊號，但

ATmega328 微控制器的訊號電壓為 5V，所以必須透過 ULN2803 8-bit 開集極驅動器，將 24V 訊號轉成 5V，而 ATmega328 微控制器回傳訊號給電腦，也必須透過 ULN2803 晶片，將 5V 訊號轉成 24V。ATmega328 微控制器主要接收電腦端傳送的命令來控制夾爪的開合及接收感測器的回授來判斷夾爪開合程度，其腳位功能如表 4.1 所示。

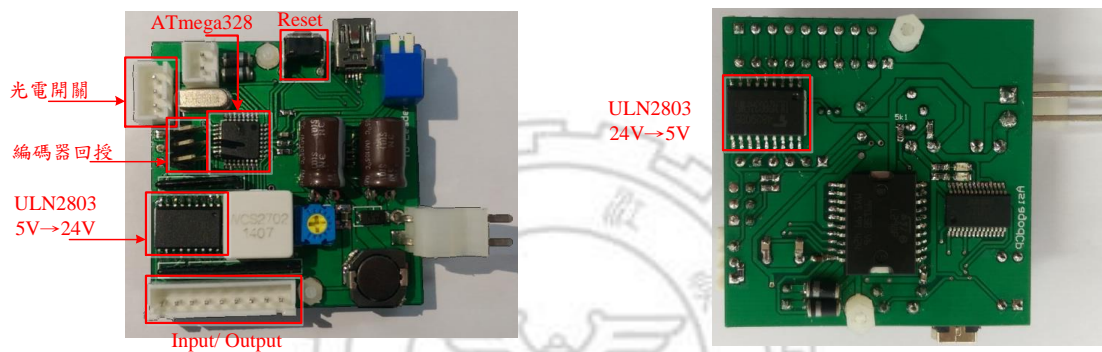


圖 4.2 夾爪訊號電路

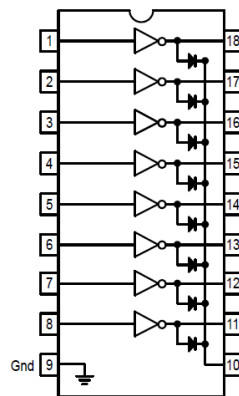


圖 4.3、ULN2803 8-bit 開集極驅動器

表 4.1、ATmega328 微控制器腳位功能圖表

腳位	功能
32、1	馬達步數回授訊號
2	光電感測器訊號
9-11	馬達運轉速度、控制馬達正反轉訊號
12-16	ATmega328 晶片傳給 I/O 控制卡的訊號
22	電流感測器訊號
23-25	I/O 控制卡傳給 ATmega328 晶片的訊號： Open、Catch、Catchto1、Catchto2、Loosen、Stop
26	Clear 訊號
27-28	由指撥開關來調整夾爪夾持力道
29	晶片初始化
30-31	燒錄晶片訊號

## 4.2 轉壓電路板

轉壓電路板如圖 4.4 所示，由於電腦 I/O 傳送出來的命令之電壓為 24V，夾爪電路上的晶片、編碼器、光電感測器工作電壓皆為 5V，為了將電壓降至 5V，透過此電路來獲得 5V 電壓。此電路是由一個 APW7080 晶片所組成，如圖 4.5 所示，將電壓轉成 5V 提供給編碼器、ULN2803 8-bit 開集極驅動器、ATmega328 微控制器、光電感測器所需的工作電壓，而之所以會使用 APW7080 是因為，APW7080 最大可輸出 4A 電流，比起一般降壓晶片有更高的輸出電流，轉換效率也高達 90%，並且內部還加入過電壓及高溫保護功能，可供應穩定且安全的電源。

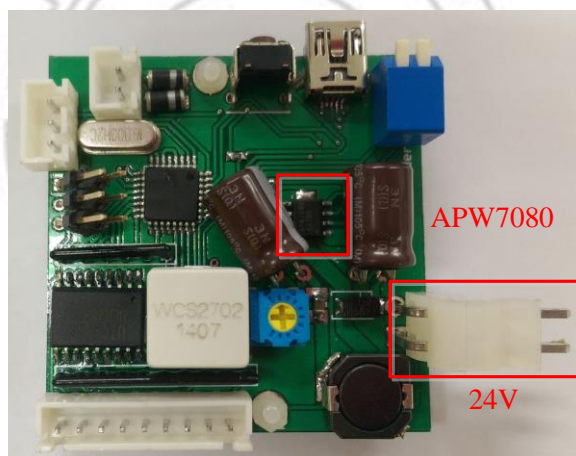


圖 4.4、轉壓電路板

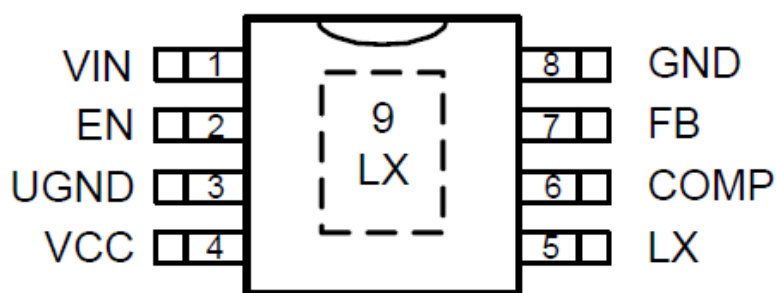


圖 4.5、APW7080 晶片



### 4.3 燒錄晶片電路

燒錄晶片板如圖 4.6 所示，ATmega328 微控制器，可以使用 Arduino 寫入程式來加以控制夾爪，溝通協定為 TTL，但由於模組化把夾爪電路放進夾爪機構裡，所以必須加上一個 USB 轉 TTL 晶片來讓程式寫入 ATmega328 微控制器。燒錄晶片板的晶片為 FTDI 公司的 FT232 晶片，如圖 4.7 所示，可將 USB 的 D+、D- 訊號轉換成 TTL 的 TX、RX 訊號。

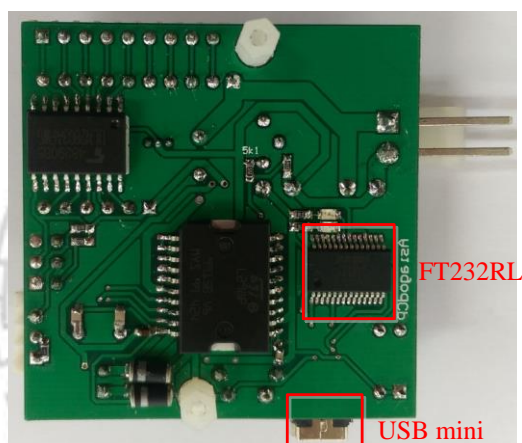


圖 4.6、燒錄晶片電路

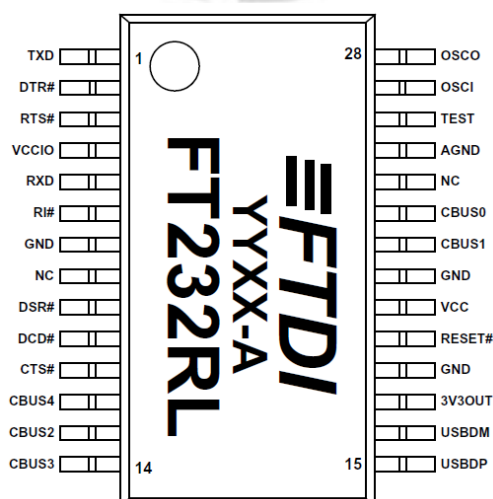


圖 4.7、FT232 晶片

## 4.4 電流感測器

電流感測器如圖 4.8 所示，是一個電流感測元件，提供直流的電流感測方案，是一個具有溫度補償設計的線性霍爾晶片與一高溫燒成的 C 型環的電流轉換器，當電流通過內部電流通道時，C 型環的電流轉換器會依電流大小而產生磁場，線性霍爾晶片又會將此磁場轉換成輸出電壓 [7]。此感測器是用來感測馬達的工作電流，運用於夾爪碰觸物體時馬達電流會變大，由此可依電流大小來控制夾取力道。



圖 4.8、電流感測器

## 4.5 馬達驅動電路

馬達驅動電路如圖 4.9 所示，需要與馬達搭配使用，主要的功能是接收 ATmega328 微控制器輸出的控制訊號，來控制馬達的速度、正反轉控制，使得夾爪能夠開合。馬達驅動電路所使用的晶片為 L298P，規格如表 4.2 所示。

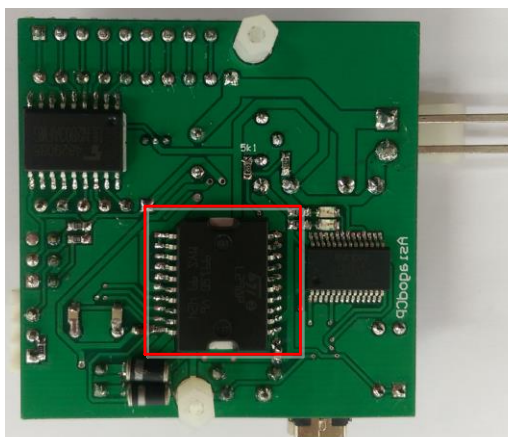


圖 4.9、馬達驅動電路

表 4.2、馬達驅動器規格

GND	1	20	GND
Sense A	2	19	Sense B
N.C.	3	18	N.C.
Out 1	4	17	Out 4
Out 2	5	16	Out 3
V <sub>S</sub>	6	15	Input 4
Input 1	7	14	Enable B
Enable A	8	13	Input 3
Input 2	9	12	VSS
GND	10	11	GND

驅動晶片	L298P
邏輯電壓	5V
驅動電壓	5-50V
邏輯電流	0-36mA
驅動電流	2A

## 第5章 夾爪模組化

### 5.1 模組化夾爪介紹

機械手臂在工業製造的應用領域已經非常廣泛，對於機械手臂的要求也有所不同，依據運送物體大小不同，夾爪的選擇也有所不同，因此將夾爪模組化，來適應生產線上物品的改變，如此一來機械手臂不再被侷限於做單一事情，大幅提升作業效率及成本。，以下將分別介紹氣動夾爪模組、電動夾爪模組、及大型夾爪模組，在 5.1.1 節至 5.1.3 節介紹：

#### 5.1.1 氣動夾爪模組

氣動夾爪的夾取速度較快，但是力道稍嫌不足，且需要一台空壓機輔助，機械手臂上也要加裝氣壓閥來控制夾爪的開合。常見的氣動夾爪有氣動二指平動夾爪及氣動三指定心夾爪，如圖 5.1 及圖 5.2 所示。氣動二爪平動夾爪常被用來夾取規則形狀的物體，如方形及圓柱形，而氣動三指定心夾爪則可用來夾取不規則物體。



圖 5.1、氣動二指平動夾爪



圖 5.2、氣動三指定心夾爪

### 5.1.2 電動夾爪模組

電動夾爪的夾取速度慢，但是力道較大，常被用來夾取較重的物體。常見的電動夾爪有電動二指夾爪、電動二指平動夾爪、電動三指夾爪及電動三指定心夾爪，如圖 5.3、圖 5.4、圖 5.5 及圖 5.6 所示。二指與三指的差異與氣動夾爪一樣，跟夾取物品的形狀有關。



圖 5.3、電動二指夾爪



圖 5.4、電動二指平動夾爪



圖 5.5、電動三指夾爪



圖 5.6、電動三指平動夾爪

### 5.1.3 大型夾爪

大型夾爪的夾指行程廣，常被用來夾取大型輪圈、大型工件...等重型物品，夾取力道強及剛性高，能大幅節省人工作業的時間。常見的大型兩指平動夾爪，如圖 5.7 所示。



圖 5.7、大型兩指平動夾爪

## 5.2 第五代第二版夾爪模組化之機構實現

第五代夾爪系統第一版及第二版最大的不同是第五代第二版的夾爪系統採用模組化的方式來設計。為了實現模組化的需求，必須將夾爪電路放進夾爪機構裡面，所以在設計夾爪機構時需考慮電路的空間，以及在有限的空間中電路的固定方式，而電路的體積也要縮小。並跟上目前業界的腳步，採用 24V 馬達及快速接頭，如此以達到模組化的目標。

因此本專題為夾爪模組化之實現，其第二版機構設計更新可分成 4 個部分：(1)快速接頭、(2)機構開孔、(3)24V 馬達、及(4)螺桿滑塊轉接板，將分別在 5.2.1 節至 5.2.4 節介紹。



### 5.2.1 快速接頭

模組化之第五代夾爪，使用了 ZZ061 19M 11P 長邊金屬接頭，如圖 5.8 所示。且在維修及更換時，可以快速插拔，減少工作時間及增加效率，如圖 5.9 所示。



圖 5.8、ZZ061 快速接頭

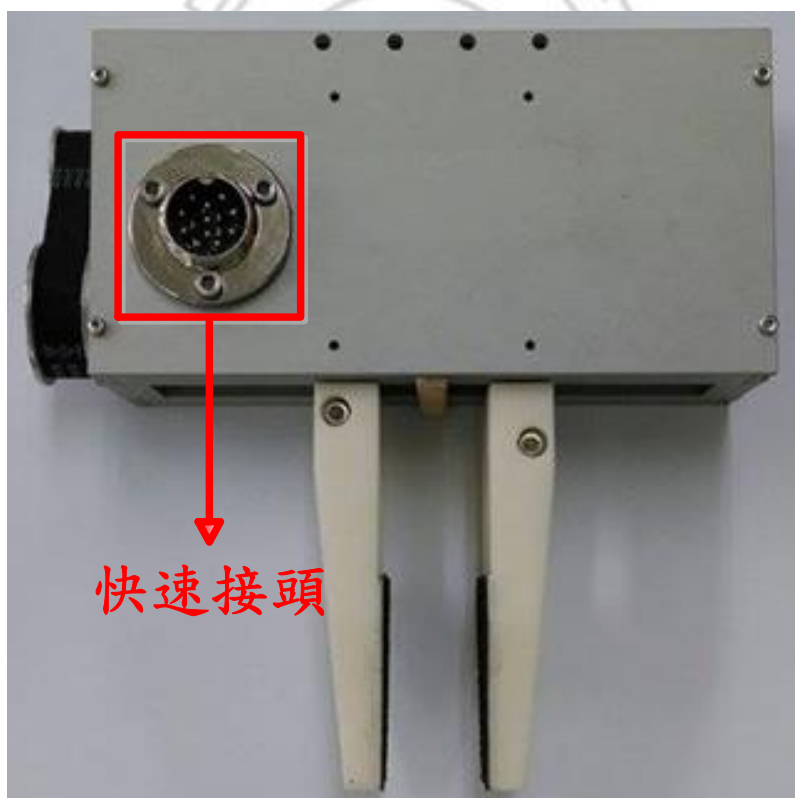


圖 5.9、快速接頭安裝圖

### 5.2.2 機構開孔

為了讓機構符合各種尺寸電路的的規格，在夾爪機構的背板上開了兩條狹槽，不論電路板的大小形狀，只要在規定的部分開孔，鎖上 M2 塑膠銅柱，即可將電路板固定於夾爪內部，以便各種新型電路的安裝與測試，如圖 5.10 及圖 5.11 所示。

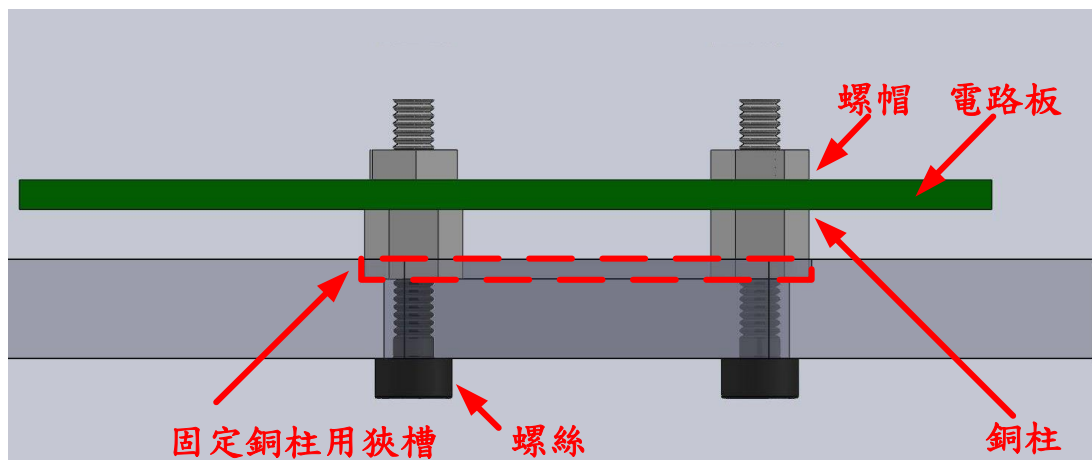


圖 5.10、Solidworks 示意圖

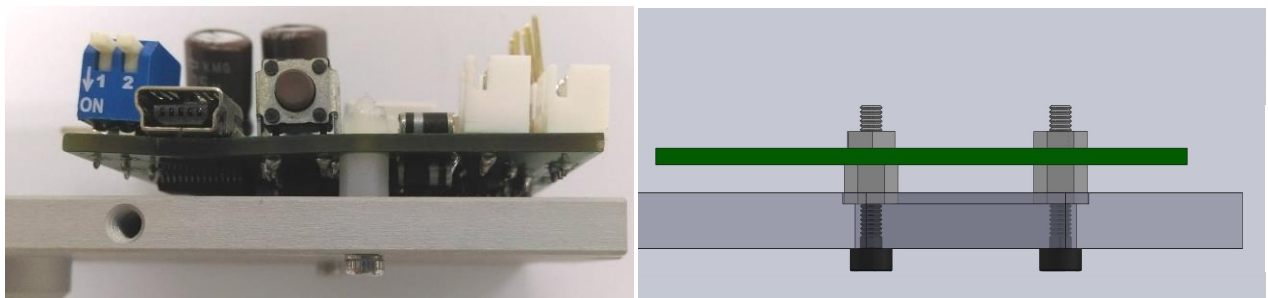


圖 5.11、實際圖與 Solidworks 示意圖對照



### 5.2.3 24V 馬達

機械手臂夾爪原先使用 Faulhaber 的馬達，其定額電壓為 12V，輸出功率為 17W，轉速為 8100rpm，電流為 0.075A，總重量為 88g，詳細規格如表 5.1 所示。

表 5.1、Faulhaber 2342S012CR 直流馬達規格

型號	2342S012CR
Nominal voltage	12 V
Output power	17 W
No-load speed	8100 rpm
No-load current	0.075 A
Weight	88g

為符合目前業界趨勢，給予我們機械手臂更強大的市場競爭力，將原先 12V 直流馬達統一更換為 24V 直流馬達，實體如下圖 5.12 所示。其定額電壓為 24V，輸出功率為 23.2W，轉速為 6400rpm，電流為 0.058A，總重量為 114g，詳細規格如表 5.2 所示。



圖 5.12、Faulhaber 2642W024CR 直流馬達

表 5.2、Faulhaber 2642W024CR 直流馬達規格

型號	2642W024CR
Nominal voltage	24 V
Output power	23.2 W
No-load speed	6400 rpm
No-load current	0.058 A
Weight	114g

#### 5.2.4 螺桿滑塊轉接板更新

過去的螺桿滑塊轉接板只有一維方向的固定，如圖 5.13 所示。夾指安裝時容易鬆動，手臂運動時也容易搖晃，夾爪的工作精度較差。

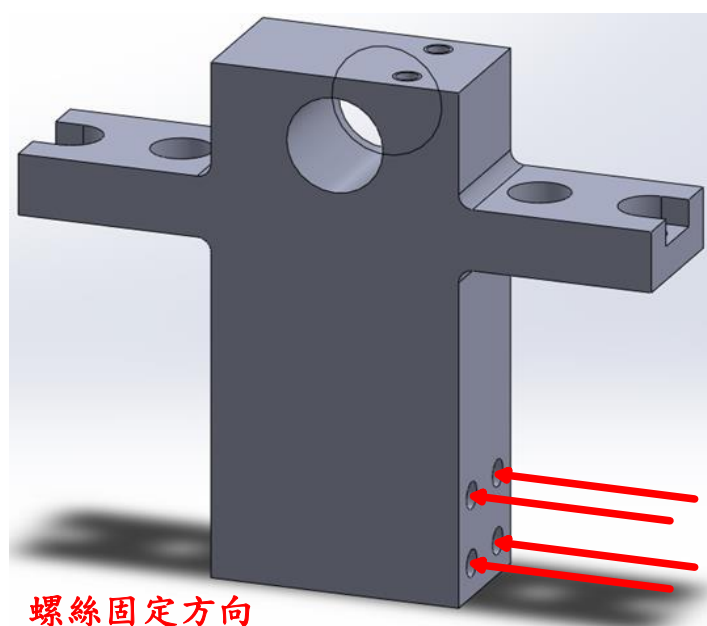


圖 5.13、舊版螺桿滑塊轉接板 SolidWorks 圖

為朝模組化目標重新設計以後，不但能從兩個維度的方向鎖上螺絲固定，還能從第三個維度的方向以面接觸的方式頂住夾指，使夾指更加牢固，如圖 5.14 所示。

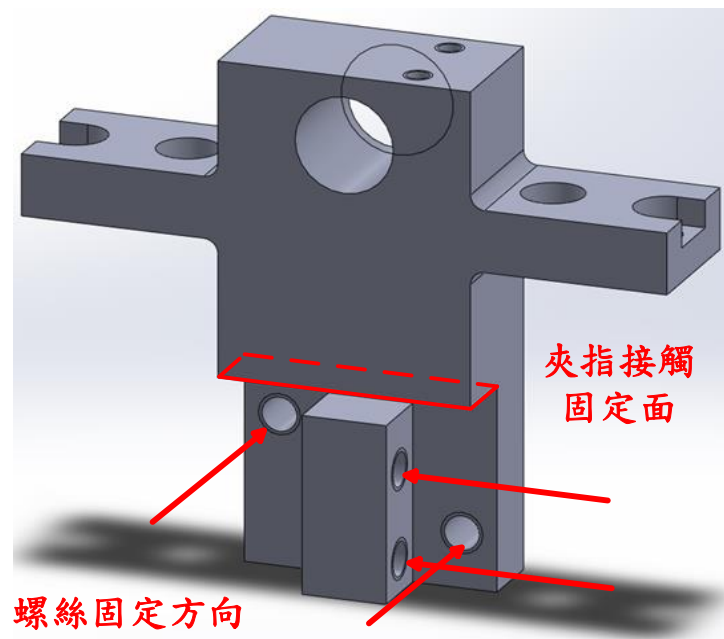


圖 5.14、新版螺桿滑塊轉接板 SolidWorks 圖

不但減少夾指操作上的誤差，更防止夾指運動上的晃動，方便實驗室合作之加工廠作業，並降低加工成本，減少協調時間，朝模組化夾爪目標邁進了大大的一步。

### 5.3 第五代第二版夾爪模組化之電路實現

第五代夾爪系統第一版及第二版最大的不同是第五代第二版的夾爪系統採用模組化的方式來設計，以往將夾爪機構安裝在機械手臂的末端點，而夾爪電路則安裝在機械手臂的小臂上，如圖 5.15 所示，導致在設計機械手臂時需要留空間給夾爪電路、手臂扭轉時線路拉扯、及維修不易等問題，因此將夾爪電路放進夾爪機構裡以改善問題，如圖 5.16 所示。如此以達到模組化的目標。夾爪模組的主要比較可以分成 4 個部分：尺寸、馬達控制器與降壓電路、微電腦控制器、及 USB 與 TTL 轉換，分別在 5.3.1 節至 5.3.4 節介紹

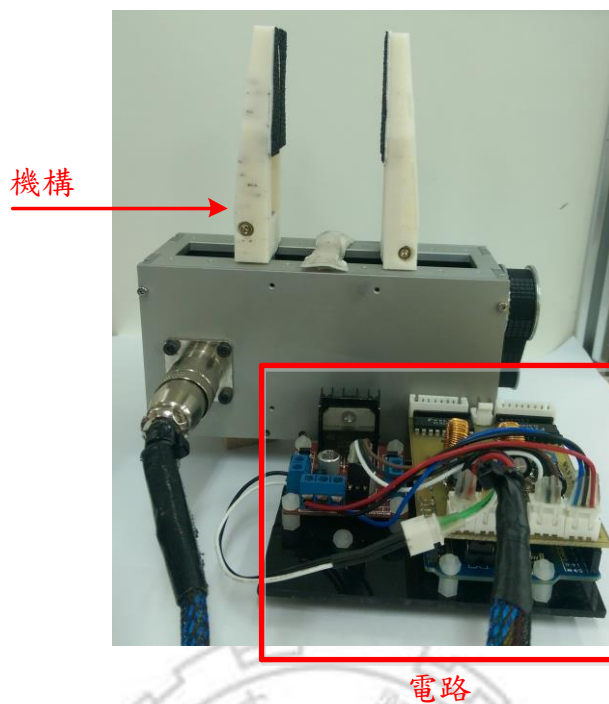


圖 5.15、第五代夾爪系統第一版

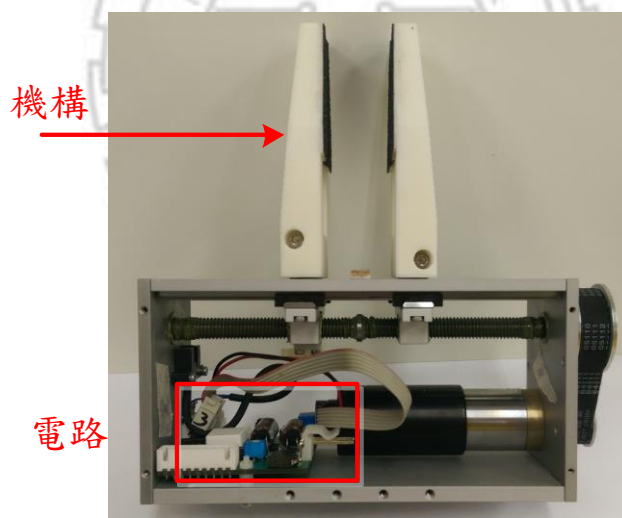


圖 5.16、第五代夾爪系統第二版

### 5.3.1 尺寸

第五代夾爪電路第一版是由三塊電路板相互連接所組成，由馬達驅動模組與 UNO 開發板如圖 5.17 所示，再加上 I/O 訊號電路與降壓電路，

為了符合馬達控制器與 UNO 開發板體積無法做任何縮小，因此第二版夾爪電路將所有現成模組電路，選擇需要的微電腦控制晶片、降壓電路、I/O 訊號轉、及馬達驅動電路合成一塊電路。實際體積如表 5.3 所示。

表 5.3、實驗室第五代夾爪比較

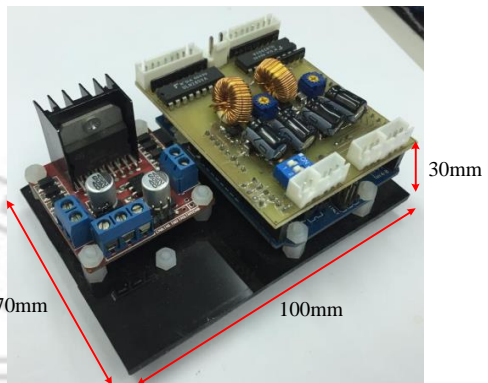
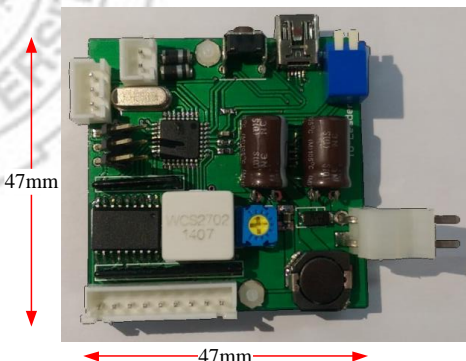
<b>第五代夾爪電路第一版</b>		
開發時間	2014/03	
尺寸	70mm(長)×100mm(寬)×30mm(高)	
馬達	12V 直流有刷馬達	
開發板	Arduino UNO	
模組	1.馬達控制模組 2.降壓 12V 模組 3.降壓 5V 模組 4.訊號模組	
<b>第五代夾爪電路第二版</b>		
開發時間	2014/03	
尺寸	47mm(長)×47mm(寬)×13mm(高)	
馬達	24V 直流有刷馬達	
開發板	自行開發(使用 ATmega328 晶片)	
模組	1.馬達控制模組 2.降壓 5V 模組 3.訊號模組 4.USB 轉 TTL 模組 5.電流感測器	





圖 5.17、Arduino UNO 開發板

### 5.3.2 馬達控制器與降壓電路

第一版夾爪是使用前一代 12V 馬達作為夾爪動力來源，而主要電源為 24V，因此需要一組降壓模組來提供馬達電壓，另外馬達驅動器如圖 5.18 所示使用現成模組，而第二版夾爪馬達則是直接使用電源的 24V，可以減少 24V 轉換 12V 的功率損耗，馬達控制器則是使用 L298P 晶片，藉由馬達的改變與晶片的更換，更能縮小此模組化夾爪電路的體積。

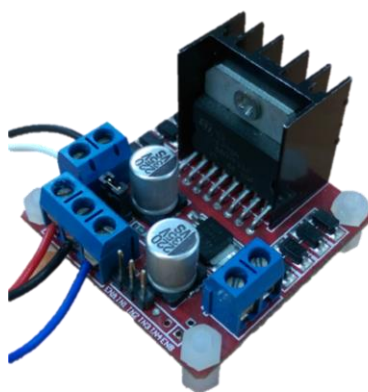


圖 5.18、馬達驅動模組



### 5.3.3 微電腦控制器

在微電腦控制器上，第五代夾爪第一版使用 Arduino 公司所開發的 UNO 開發板，並且將降壓電路與 I/O 訊號轉換電路結合在一塊板子上，由於 Arduino UNO 開發板體積相當龐大，無法放入夾爪機構內部，因此第五代夾爪電路第二版選擇了封裝較小的晶片，此晶片與 Arduino 公司所開發的 NANO 開發板，如圖 5.19 所示，同款的晶片，具有相同封裝，是由 Atmel 公司生產的 ATmega328，其中封裝格式不同的 UNO 開發板使用的是 ATmega328PU 雙列直插型晶片，而第五代夾爪第二版則是使用 ATmega328AU 貼片式晶片，此貼片式晶片加入需要的電路，就能組成一個 Arduino 做為程式撰寫的微電腦控制器，此方法能大幅的縮小體積，還能解決第一版夾爪電路所使用的 I/O 已達 UNO 開發板可使用的 I/O 上限的問題，在貼片式的封裝格式有 32pin，I/O 腳位比使用 UNO 能多出 3 個 I/O 腳位，如此一來還能加入電流感測器，提高夾取物體時的精確度。



圖 5.19、Arduino NANO 開發板

### 5.3.4 USB 與 TTL 轉換

為了能夠縮小體積，將 UNO 開發板上所使用的 USB type B，改為使用的 mini USB 如圖 5.20 所示。USB type B 為舊款 USB 腳位圖如表 5.4，

其中腳位只有 4 腳位，而新型的 mini USB 則有 5 腳，其中不同的腳位為當 OTG 接地時表示為主控端，稱 A-device，浮接方式表示設備端稱 B-device。

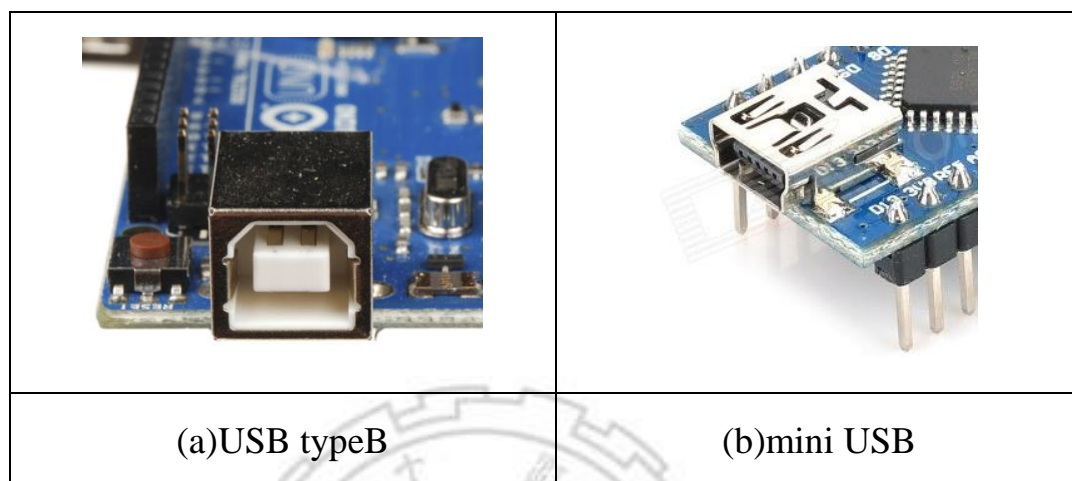
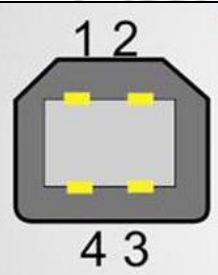
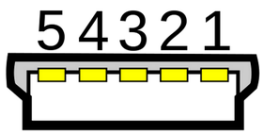


圖 5.20、USB 種類介紹

表 5.4、USB 腳位介紹

			
USB type B		USB mini	
腳位		腳位	
1	Vcc	1	Vcc
2	D-	2	D-
3	D+	3	D+
4	GND	4	OTG
		5	GND

## 第6章 結論與未來展望

本專題主要研究模組化夾爪，將夾爪微電腦及電路與感測器設計在夾爪內部，為了解決機構與電路要分開安裝在機械手臂上的問題，本專題改良一個可以放進夾爪機構內部的夾爪電路，將原本大小為  $70\text{mm} \times 100\text{mm} \times 30\text{mm}$  的雙層夾爪電路調整為  $47\text{mm} \times 47\text{mm}$  的單層夾爪電路，進而達到模組化的目的。馬達使用的是直流有刷馬達，未來可以使用直流無刷馬達來設計實現，因為相同扭力之直流無刷馬達的重量幾乎是直流有刷馬達的一半，此方式將可以減少整體夾爪的重量，進而提升機械手臂末端點的負重，並且可以結合電流感測及壓力感測來控制物件夾取時的力量。

未來希望能將此夾爪模組運用在市面上，此模組只需簡單的 Arduino 程式撰寫，就能完成夾爪的開合及夾取動作，無需像一般夾爪模組，外加許多控制板來完成夾爪的控制，另外，還希望能加入模糊控制，提高夾爪的靈敏度。

於機構方面，未來希望能將體積縮得更小，並改良目前螺桿滑軌式夾爪，尋求更穩定的傳動方式，以減少夾指開合時所產生的振動及噪音。並於夾爪旁傳動之皮帶輪兩側加裝舵輪，使皮帶咬緊皮帶輪，增加動力傳輸之穩定度及其工作效率，減少晃動時產生的動力損耗。且為增加夾爪運動時之安全性，未來將於夾爪皮帶側加裝保護殼，將原先外露式的皮帶與皮帶輪收進機構內部，統一體積及外觀，使夾爪機構部分更朝模組化之實現向前邁進。

---

## 參考文獻

- [1] 陳盛來，*製造業機器人自動化應用趨勢*，工業技術研究院，2013。
- [2] 張建一、王寶苑，*迎戰第4次工業革命*，工業總會，2014。
- [3] 顏銘宣，*夾爪模組化創新設計方法與個案實證研究*，朝陽科技大學工業工程與管理系碩士專題(指導教授：林均燁)，2013。
- [4] ATmega328 datasheet URL：  
<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/392243/ATMEL/ATMEGA328.html>
- [5] Faulhaber URL:<https://fmcc.faulhaber.com/en/global/>
- [6] WCS2702 datasheet URL：  
[http://www.nrc.com.tw/CAT/Faulhaber/2642\\_CR.pdf](http://www.nrc.com.tw/CAT/Faulhaber/2642_CR.pdf)
- [7] ULN2803 datasheet URL：<http://www.promelec.ru/pdf/uln2803ap.pdf>
- [8] APW7080 datasheet URL：<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/249272/ANPEC/APW7080.html>
- [9] FT232 datasheet URL：<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/144591/FTDI/FT232RL.html>
- [10] L298P datasheet URL：<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/22439/STMICROELECTRONICS/L298P.html>
- [11] CPC MR 微型滾珠線性滑軌 datasheet URL：  
[http://www.chieftek.com/download/MR\(chinese\).pdf](http://www.chieftek.com/download/MR(chinese).pdf)
- [12] 張瀚升，*自適應三指夾爪及其模糊控制器設計*，淡江大學電機工程學系碩士專題(指導教授：翁慶昌)，2014。
- [13] 李育昇，*六軸機械手臂與音圈馬達夾爪的設計*，淡江大學電機工程學系碩士專題(指導教授：翁慶昌)，2014。

## 成員分工

陳少瑜	第五代夾爪機構設計(第 3 章)、第五代第二版夾爪模組化之機構實現(第 5 章)、文件撰寫。
林倪敬	第五代夾爪電路設計(第 4 章)、第五代第二版夾爪模組化之電路實現(第 5 章)、文件撰寫。

