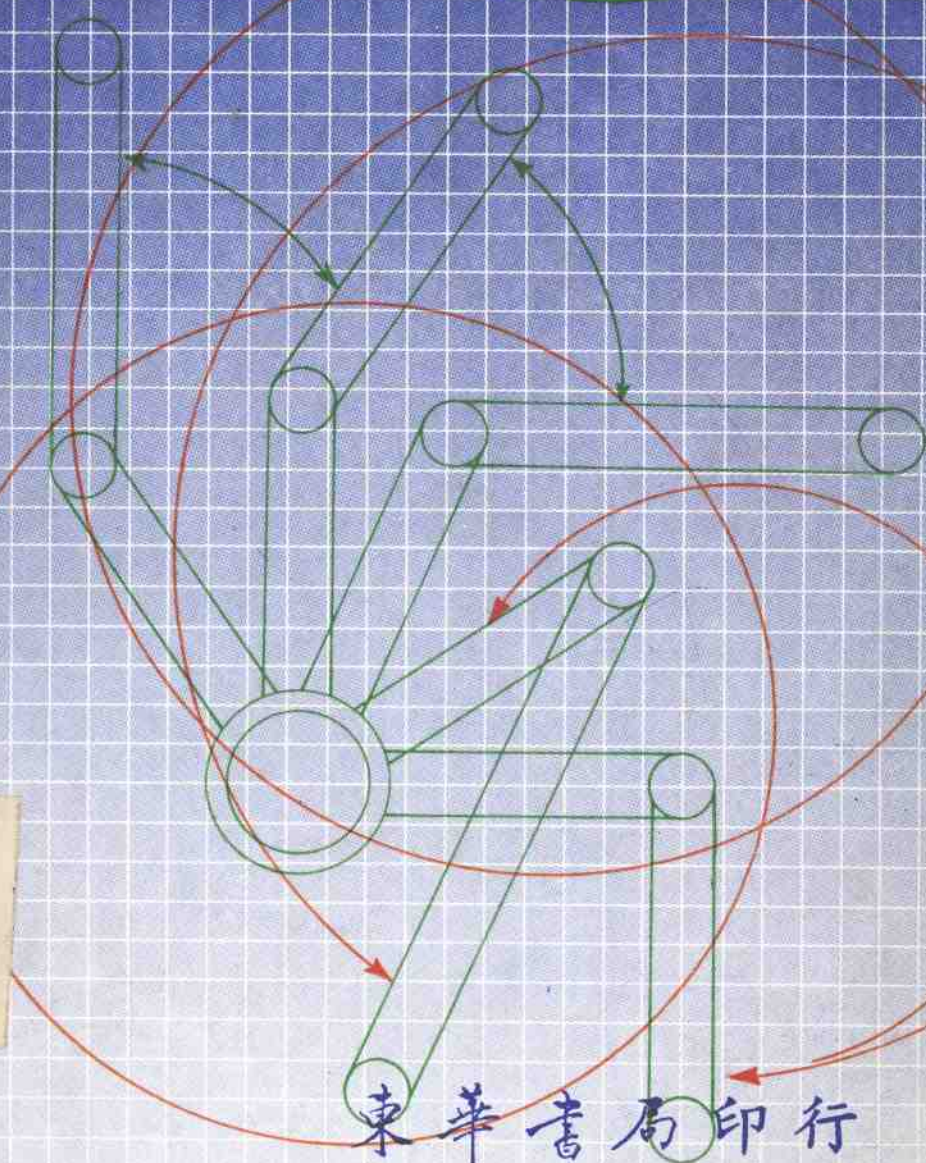


機器人 微處理機

原著者

MARK J. ROBILLARD

賴瑞發譯



機器人微處理機

Microprocessor Based Robotics

原著者

Mark J. Robillard

譯者

賴瑞發

東華書局印行



版權所有・翻印必究

中華民國七十五年二月初版

機器人微處理機

定價 新臺幣壹佰捌拾元整

(外埠酌加運費滙費)

譯者	賴瑞發
發行人	卓鑫森
出版者	臺灣東華書局股份有限公司 臺北市博愛路一〇五號 郵撥：00064813
印刷者	合興印刷廠

行政院新聞局登記證 局版臺業字第零柒貳伍號
(75014)

序 言

近年來，微處理器或“晶片上電腦”已經奪得設計者的心，且使整個電子工業產生大革命。今天我們在日常的生活，常以某些型式，至少使用一種電腦。同樣地，機器人正成為新的革命，不久科學小說的機器僕人將成為事實。

本書為設計者、實驗者、或未來的科學家提供新的挑戰，機器人是一種機械、電機、電子和電腦工程混合的科學。因此我將本書分為五個部份，每個部份討論一種範圍，電子或機械方面；在每個部份內，是包含特定主題的個別章節。在所有章節內，包含實際的設計構造，以及任何所需的程式規劃資料。

目次

序言

第一部份 機械構造 1

第一章 機器手的機構 3

兩隻手指式機器手 3 機器手指的移動 7 螺旋導引的機構 8 正齒輪 9 蝸輪 9 機器手的構造 9 機器手設計研究 11 多隻手指 12 五隻手指式的機器手 13 其他機器手設計 15 特別優異的機器手 16

第二章 機器手臂設計之研究 17

手腕設計 17 功的形成 19 手腕機構 20 手臂設計 22 電纜驅動系統 25 手臂結構 27 提升鎖 30

第二部份 電機械構造 33

第三章 基座 / 腳的探討 35

基座 35 提升的外體 37 外體 38 移動 39 兩輪驅動 41 腳 42

第四章 可控制的移動裝置 47

馬達 47 力矩 47 馬達型式 48 直流永久磁鐵馬達 49 直流齒輪馬達 50 控制 50 雙方向控制 51 速度控制 55 步進馬達 57 線性移動 58

第五章 回授機構的定位 63

限定回授 63 移動回授 64 反射式的偵測 65 磁學 66 伺服控制 67

第三部份 電子感測器 73

第六章 觸覺的感測 75

光觸摸 76 觸摸編碼 80 壓力感測 81 聲音的感覺 81

第七章 移動和姿勢感測 85

移動偵測 86 姿勢感測 88 方向尋找 89

第八章 視覺系統	91
機器人眼睛 91 實際的事物 93 影像數位器 95 固態視覺 98	
距離判斷 104	
第四部份 電腦控制	109
第九章 單晶片智慧	111
電腦 111 CPU 112 指令解碼器 115 暫存器 115 程式計數器 115	
堆疊指示器和中斷 116 ALU 116 微電腦 117 動作特性 117	
內部結構 118 8748 119 程式規劃和查證 122 記憶器的利用 126	
程式狀態位語 131 指令系列的中斷 132 算術和邏輯功能 134	
暫存器動作 135 跳越動作 135 定時器 137 程式模擬 137	
第十章 移動控制	143
BIG TRAK的介面 147 局部控制 148 增加程式儲存區 153 串聯 I/O 154	
BASIC 程式 156 碰撞偵測器 156 系統的電源供給 159	
第十一章 操縱器控制	161
功能規格說明 161 操作 162 命令 164 應答 165 硬體設計 166	
重置 167 馬達控制 168 傳達部份 171 埠端動作 176	
8251A的預置 179 命令的接收 184 MOVE 命令 186 STOP 命令 191	
ABORT 命令 191 READ 命令 191 CHECK 193 OUT 命令 193	
送出資料 194 主電腦 194	
第十二章 機器人控制語言	195
歷史背景 195 我們走向何處 196 手臂指揮程式 197 預置 197	
型式選擇 198 手動型式 198 副程式：轉換和送出 199 自動型式 200	
儲存常式 201 取回 (Recall) 常式 201 移動 BASIC 202	
第五部份 機器人溝通 / 控制	211
第十三章 遙控命令連結	213
背景 213 遙控導通 - 截止 213 AM1 2743/2742 215 MOTO-ROLA MC 14457, 14458 218	
命令控制器 222 無線電 226	
第十四章 聲音命令設計	229
按鈕病 229 LED 是光 230 芝蔴開門 233 單晶片語言識別 235	
是否有更好的 IC ? 238	

第一部份

機械構造

第一章

機器手的機構

大部份討論機器人的文章，經常忽略機器手或末端效能器 (end effector)；你會看到許多關於機器手臂、滑動基座、控制系統、甚至於程式語言的文章，但很少看到關於機器手的文章。由於機器手趨向於機器人系統的實際用途，這是使用機器人系統時必須認真考慮的事項。

以機構而言，機器手是學習機器人的最好進入點，機器手能依你的需要，做得簡單或複雜。本章將探討幾種型式的機器手之機構。

當我們想到手時，我們很容易設計出我們手腕末端的附屬肢體，雖然人類的手是一個非常有效率的部位，卻不容易表示；我們的手是我們自己唯一的末端效能器，所以我們用手時，手必須適用於所有用途。但機器人適於裝配成一組可拆除的機器手單元，每個單元能依特定用途而設計。

參閱圖 1-1，圖中有兩個依特定用途而設計的末端效能器，為何大部份的設計皆模倣兩個鉗形 (two-pincer) 或兩隻手指 (two-fingered) 的機構呢？因為這種設計是模倣一把鉗子，在大部份的用途上，你可能需要此種鉗形，亦是更容易模倣和控制的機構。

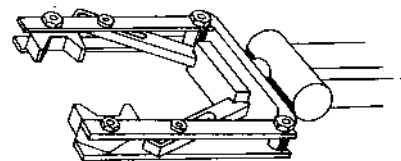
兩隻手指式機器手

現在討論一個簡單兩隻手指式機器手之設計，圖 1-2 表示一個完整的機器手單元，大部份由木頭造成。這個特殊設計，使用一種繼電器馬達 (relay-motor)，稱為螺線管 (solenoid)。螺線管將在第四章詳細討論。

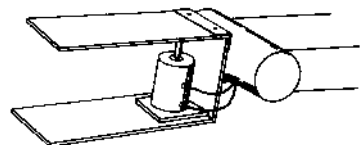
首先是設計手指，為了有效率地設計手指，必須考慮下列幾種事情：

1. 從手掌開始的總長度：

依照你想要處理的物體形狀，來決定總長度；例如你想從瓶頸提起玻璃酒瓶，則你要用長而細小的手指；若物體是長方形的塊狀，或許用短而寬



(a)兩個鉗形的機構



(b)具有螺線管的兩隻手指機構

圖 1-1 為 Unimate 機器人而設計的機器手。

4 機器人微處理機

的手指較佳。

2. 手指接觸面的寬度 / 長度：

你想要處理的物體重量，決定寬度 / 長度比；若長方形的物體相當重，則需要的接觸面比鉗形手指所允許的表面面積還要大，因此設計機器手時，接觸面(pad area) 是重要的考慮因素。

參考圖 1-3，當機器手正抓起一個物體時，有兩種力量作用在物體上，即重力產生向下的力量，手指產生向內的力量。當連接到機器手的手臂移動時，則出現另外一種力量，這力量使得物體從手指所抓握之處滑動。

手臂的加速或減速，所產生的力量是重力的正常拉力之兩倍。若手臂水平移動，作用在物體與機器手接觸點的力量是物體重量的兩倍；若垂直移動，由於受到重力的正常拉力，加上移動時所受的兩倍力量，所受的總力量是物體重量的三倍。

接着考慮摩擦，當機器手和手臂單元提起物體時，重力將物體順着手指接觸面拉動，以致造成摩擦或滑動 (slip)。

若物體的重力中心在手指接觸點之上 6 英吋處，則此因素稱為摩擦係數 (friction coefficient)，即等於 0.06。這個數字與物體的總重量乘以每個手指上接觸點間之距離配合使用，可成功地得到抓緊和轉移物體所需的力。

若你知道重力中心所在之位置，這是最好的事。通常一個物體的重力中心是其質量的中心，須注意，這只指通常情況，因為某種物體，例如人體，分佈於整個區域的質量是一種變動量。假設你想處理的物體具有固定的質量，例如石塊、岩石、瓶子等，我們能從物體的各角劃出交叉線，找到重力中心的約略位置，如圖 1-4 所示，交叉線上互相交接的點，能設定為重力的中心。

當討論接觸區的寬度問題時，我們提出第一個數學方程式，以應用在設計機器手上。下列的關係式，可用於求抓握一物體所需的力：

$$\text{所需的力} = \frac{\text{物體之重量} \times \text{接觸點間之距離}}{\text{摩擦係數} (\text{接觸點與 C.G. 之距離} + 100)}$$

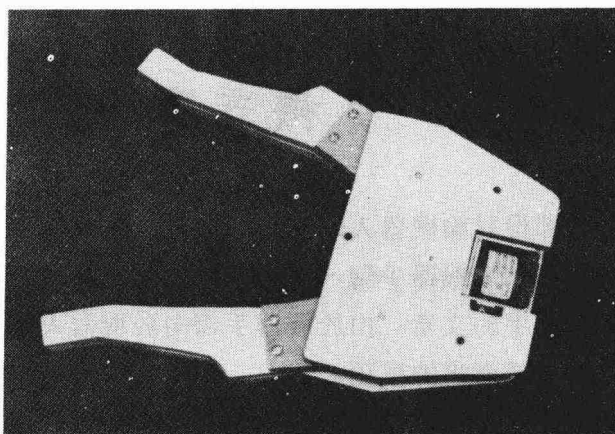


圖 1-2 由木頭所構成的機器手。

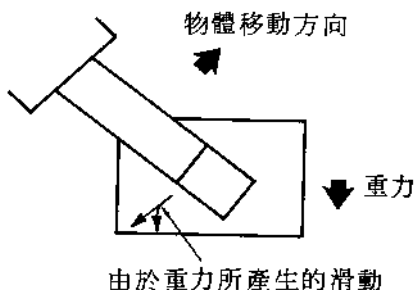


圖 1-3 在抓握所產生的力。

當你從事機器人系統設計時，經常利用個人電腦，幫助你解決設計上有關計算的問題；因此你讀本書時，你將建立這些設計上計算用的程式，這些程式可轉換成短的 BASIC 副程式，能用在大部份通用的個人電腦上。這些副程式聚集成一個主程式，將在第十二章詳細討論。表 1-1 包含這個機器手所需力量的公式。

此時你可能會懷疑抓握力與手指長度有何關係？現在假設你想抓住一個特殊的物體，經計算求出其所需的抓握力超過一千磅以上，你可有大麻煩，因為這機器手所需的驅動力實在太大了！但是你不必改換物體，只需考慮接觸面的大小即可。

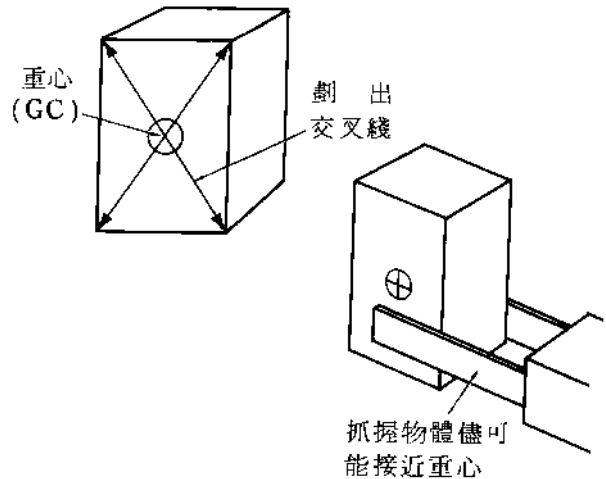


圖 1-4 圖中指出找尋重力中心的步驟。

表 1-1 抓握力方程式。

```

200 CLS: PRINT"GRIPPER FORCE EQUATION"
210 PRINT:PRINT"TO FIND GRIP FORCE REQUIRED:"
220 PRINT:PRINT"ENTER WEIGHT OF LIFTED OBJECT:"
230 INPUT"LBS":A
240 PRINT:PRINT"ENTER DISTANCE BETWEEN POINTS OF CONTACT ON FINGER PAD:"
250 INPUT"(INCHES)":B
260 PRINT:PRINT"ENTER DISTANCE FROM CENTER OF GRAVITY OF CONTACT:"
270 INPUT"(INCHES)":C
280 C=C/100:G=(A*B)/C
290 CLS:PRINT"GRIP FORCE= ";G;"POUND-INCHES"
295 PRINT:PRINT"<ENTER> FOR MENU,<SPACE> FOR ANOTHER"
297 A$=INKEY$:IF A$="" THEN 297
298 IF A$=" " THEN GOTO 200 ELSE GOTO 10
  
```

抓握物體盡量接近重力的中心，或擴大接觸板長度或面積，皆能減少所需的抓握力；你從抓握力方程式中，即可看出這些方法能減少抓握力。當然抓起二十萬磅的物體，將來也可能做得到。

3. 機器手指的形狀：

我們的手指是管狀的，由三個關節所構成；而一把鉗子的手指是成圓形、硬的且通常帶有齒狀；但兩者皆能有效率地打開旋轉式的瓶蓋。為了抓緊瓶頸，你的手指外圍形狀，將與瓶頸的形狀相同；但對長方形物體，只需兩片平的接觸板，因此這些手指的接觸面是平的。

4. 機器手指接觸板之間的關係：

進行下列的實驗：

取出兩根木棒，放在平的表面上，放置方向如圖 1-5 所示；兩根木棒相隔二英吋寬且平行放置，並使木棒的底端固定，形成一個支軸點，同時移動木棒一直到互相接觸為止，此時你可看到一個相反的“V”形，或三角形的頂點。你考慮在木棒向內移動之前，將一個四方形物體放在木棒之間，如果物體被木棒抓起，則每個手指上接觸板之面積非常小，事實上，其面積只有一個點而已。當兩隻手指接觸在一點時，你為物體提供支軸。若物體上部重些，則會有損害的後果，因為將物體提起時，物體會搖晃以致掉落表面。

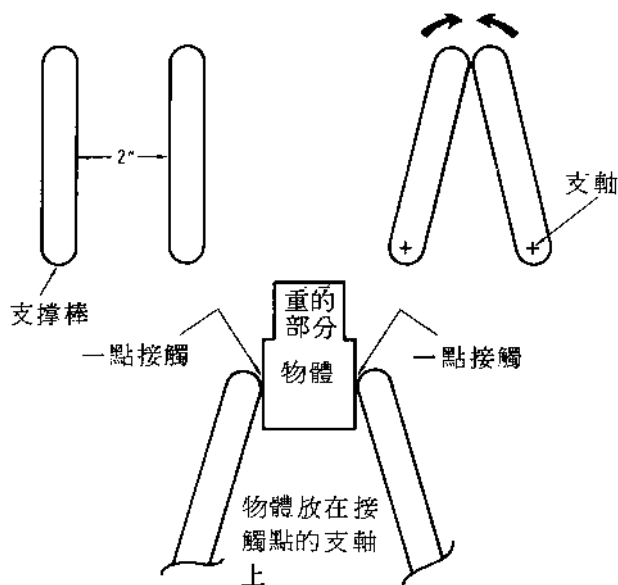


圖 1-5 木棒用以表示兩隻手指式機器手的動作。

為了確定每個接觸板上有兩個接觸點，在設計手指時，使得手指能自行排列 (self-aligning)。在這種型式的機構中，從外部的邊緣到內部的接觸點，兩隻手指的接觸板一直保持平行，圖 1-6

指出一個自行排列手指的設計。我們須注意接觸板面積的支軸點，以及在機構上，這些支軸點如何連結手指結構的移動。

一般而言，自行排列的鉗子，能有效地使用在各種需要抓起物體的用途上，但是在某些情況，例如處理非常小的零件或物體，則鉗子的效用更佳。

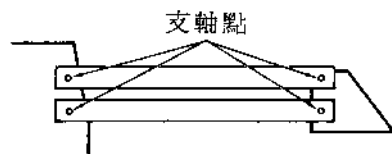


圖 1-6 自行排列手指之設計。

雖然以木棒的動作來解釋這種設計方法相當地簡略，可是需要用鉗形的手指時，手指的末端通常設計成圓錐形，或至少使尖細成一點。

5. 機器手指之材料：

最後考慮你設計的機器手指，是否能經得住抓握物體所需的力量，實驗上的機器手是由木頭和小部份的金屬所構成，本書將廣泛地使用這種材料，但是這並不表示木頭一定能用在工業之用途上；事實上，在詳細討論所作用的力及所構成的材料時，我們需記住一點，即材料的重量直接影響我們以後各章所學

習的其它系統；因此設計的一般規則，應該使材料的重量為最低，避免危害機器手完成其任務的能力。

以上所討論，除了支軸點的放置外，包括所有機器手指的設計；若無支軸，手指如何進行抓握的動作呢？讓我們來詳細察看如何動作。

機器手指的移動

美國國家標準局進行機器人的研究，已經有一段時間；幾年以前，他們發展出一個具有機器手的手臂，這個機器手使用一個獨特的手指密閉式機構，如圖 1-7 所示，機器手的兩個鉗口永遠保持平行，他們之間不放在支軸上，只有在個別的軌道上，往對方滑動。

機器手指上可移動的軌道，乃透過一種稱為齒條和小齒輪 (rack and pinion) 的傳動裝置，來進行運轉。你可能聽過齒條和小齒輪傳動與汽車的駕駛機構有關，在基本上，你能參考圖 1-7 所示，平的傳動裝置稱為齒條，圓的傳動裝置稱為小齒輪；當小齒輪運轉時，齒條依據小齒輪運轉的方向（順時針或逆時針），成直線運動。

要做成這種運轉的型式，相當簡單，只需要一個可控制運轉的部份（小齒輪）；小齒輪上齒狀的數目與齒條上齒狀的數目之間的關係，決定手指上所提供的力，及手指閉合的速度。

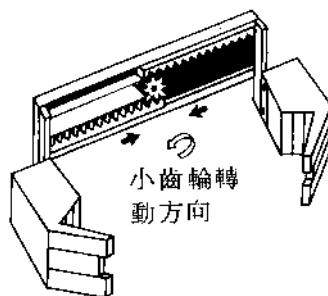
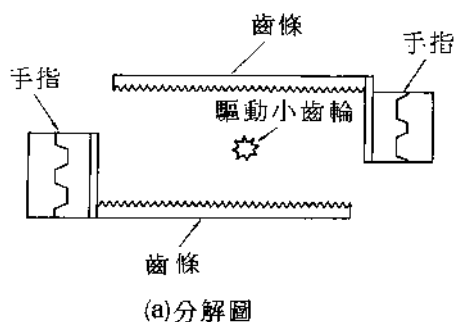
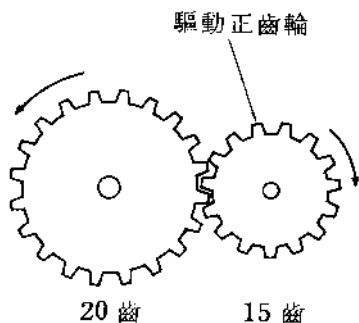


圖 1-7 美國國家標準局利用齒條和小齒輪所設計的機器手。

基本傳動裝置

在進一步討論以前，我們需要說明機械齒輪連結之概念，在設計機器手移動機構時，必須了解齒輪大小、齒狀數目和齒輪型式之間的關係，如圖 1-8 所示。

在以上所討論的齒條和小齒輪之情況，若小齒輪上的齒狀數目為 10，小齒輪上的齒狀是磨入軸心內，與軸心平行；而齒條上的齒狀數目為 100，齒條是一個平的棒狀，所磨的齒狀與其長度垂直，則手指裝置的移動速度是小齒輪運轉速度的十分之一；而且手指所提供的力是小齒輪所傳送的十倍。



驅動與被驅動正齒輪之間的關係

$$20/15 = 1.5$$

被驅動正齒輪的力（轉矩）增強1.5倍
被驅動正齒輪的速度減慢1.5倍

圖 1-8 基本正齒輪設計的關係。

若你能減低手指的速度，則能增加力；當你需要更多的力加在物體上，但無法增加運轉元件（馬達）的大小時，則你能調整驅動器（小齒輪）與接收器（齒條）之間的齒輪比（gear ratio）。

其它的齒輪構造，其動作皆類似，在齒輪與齒輪連結的構造中，齒狀的數目決定速度與力的比。讓我們再看另一個例子，其進行手指的移動與齒條和小齒輪類似。

螺旋導引的機構

若你做過任何型態的工廠工作，則你可能熟悉標準的工作台老虎鉗，這是一種工具，利用扳手旋轉一個相當大的螺旋，使得兩個鉗口互相向內或向外移動，參閱圖 1-9 的說明，注意螺旋的旋轉如何使鉗口移動。

因為在鉗口上螺旋適合穿過的孔內加上螺紋，來接受螺旋特定尺寸的螺紋，以致把孔當作螺帽一樣；而且利用另外的軸心裝置，避免鉗口像螺帽一樣的轉動，因此鉗口除了向前或向後的線性移動外，

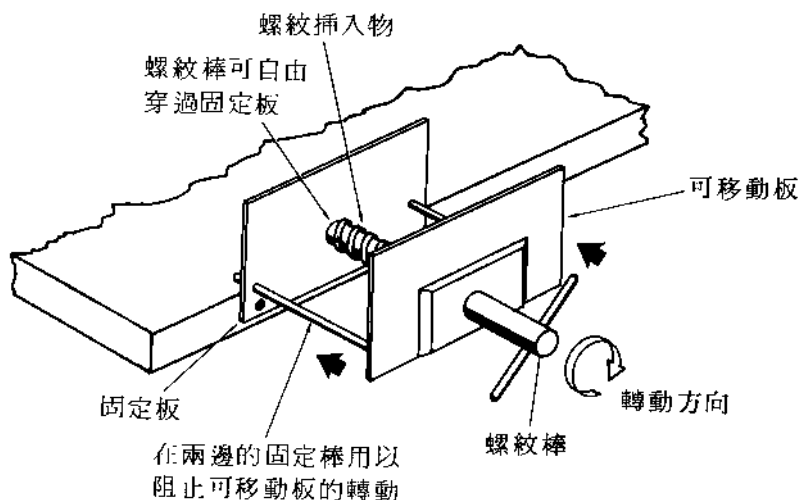


圖 1-9 工廠老虎鉗的動作與螺旋導引機構的關係。

不會往其它方向移動。從這種機構中，你能看出只用一個可控制的移動元件（螺旋），即可完成與齒條和小齒輪相同的動作。

在機械上的術語，螺旋稱為導引的螺旋（lead screw），鉗口是螺旋導引臺架的一種形狀，當然你能設計任何所需的形狀，只要它加上螺紋且阻止旋轉即可。

計算螺旋導引機構的轉矩與力量，與目前所討論的其它傳動裝置不太相同；事實

上，驅動齒輪與螺旋的比通常是相當高，以致非常小的輸入力能產生大的輸出力。其關鍵在於螺旋的長度，當驅動螺旋時，使用 1 對 1 的齒輪比，亦即螺旋導引的驅動齒輪有 10 個齒時，則用 10 齒的齒輪驅動它（圖 1-10），這使計算簡化。如果不可能使用 1 對 1 的比例，則參閱下一段有關正齒輪部份，研究它們之間的關係。用於設計傳動裝置系統的公式，在第二章討論齒輪用在各種機器手臂系統設計時，會詳細說明。

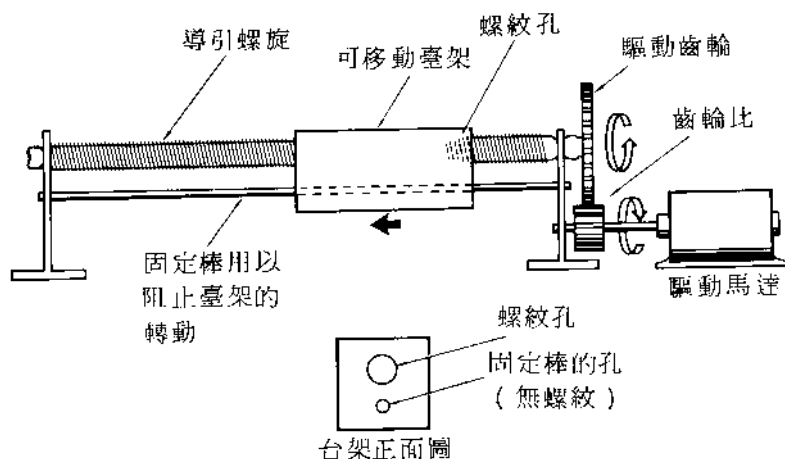


圖 1-10 螺旋導引設計圖。

正齒輪

正齒輪是你每天常見的基本傳動裝置，用於驅動導引的螺旋（除非馬達有螺旋蝸輪建在軸心內）。正齒輪是齒條和小齒輪傳動裝置的小齒輪部份，其互相動作情形如前面所討論；驅動齒輪與接收齒輪的齒數比決定速度與力量的大小。

蝸輪

蝸輪(worm gears)的動作與導引螺旋非常類似，其驅動的齒輪是一個螺旋狀的軸心，如圖 1-11 所示。輸出或接收器齒輪與蝸輪啮合，即可從蝸輪的線性運動提供迴轉的運動。本章後段，我們將研究使用蝸輪來設計機器手。

在以上幾段中，我們簡略說明各種齒輪和它們之間的關係，在第二章將詳細討論齒輪系統的設計，但是在研究各種機器手設計之前，你必須知道每種齒輪如何動作。

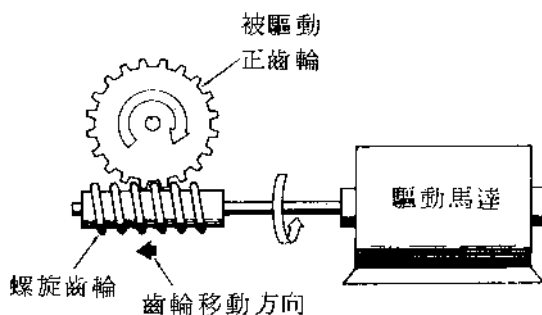


圖 1-11 蝸輪的動作。

機器手的構造

研究一種實體，除了你實際投入和使你的雙手弄髒外，沒有更好的方法；但是我們能做到不需弄髒，而從兩隻手指機器手的構造著手。提醒你一點，這個機器手是為說明構造技術而設計的，除了當作解說的器材外，不能進行任何特定任務。

圖 1-2 是一張機器手的圖片，我們注意到在洞和鉗口上依支軸旋轉的兩隻手指，

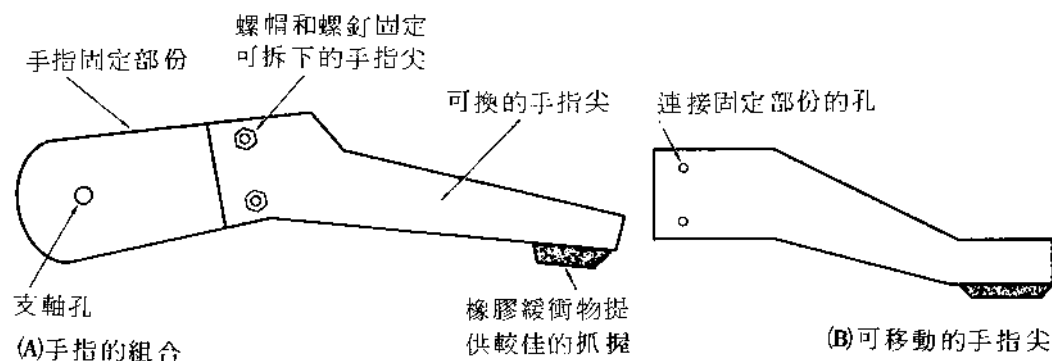


圖 1-12 木頭所構成的機器手之手指設計。

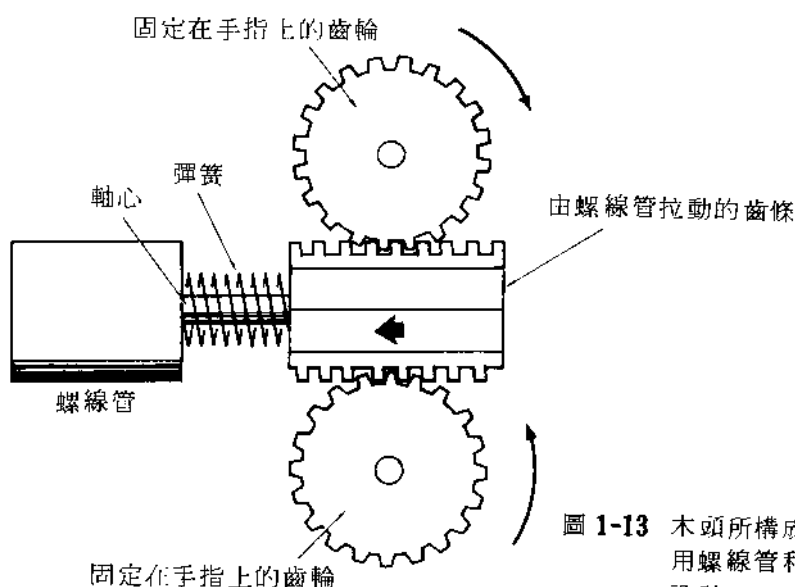


圖 1-13 木頭所構成的機器手中，用螺線管和齒條組的齒輪設計。

並不是設計成自行排列。圖 1-12 是我的例子中，所選擇的基本手指形狀的簡略圖，所用的材料是以鋸曲線用的截鋸所切成的 $\frac{1}{2}$ 英寸的合板，基座結構的材料是 $\frac{1}{4}$ 英寸的合板，也是在截鋸架上切成的；機器手的傳動裝置，是以大部份玩具店所賣的 LEGO 高級建築師備用零件套件所構成。

談到傳動裝置，讓我們探討這個特定機器手所使用的方法；圖 1-13 所示，是作者為這個機器手所設計的傳動裝置系統，當齒條組向外移動時，齒條和小齒輪的逆轉裝置使得齒輪轉動；當推動齒條組的每一邊時，兩個齒輪以相反方向轉動，以致進行手指所需的打開或閉合。

齒條組是利用螺線管使它線性移動，若齒條組加上螺紋，則能放置在導引的螺旋上，且有某些方法以阻止齒條組的轉動。圖 1-14 至 1-16 是機器手的其它觀測圖，這些圖能幫助你了解機器手的構造。在本書中，任何特定的詳細構造受到本書的目標限制，因為本書的目標是在於教你如何設計，而不是套件的說明書。

機器手設計研究

圖 1-17 描述 Microbot 公司目前正在使用的迷你移動者 (Mini Mover) 機器人的設計，雖然這機器人很小，但兩隻手指的設計方法包含以前所提的大部份設計規則。鉗口是自行排列且由輕的金屬做成，閉合動作透過電纜來完成；當拉緊電纜時，使鉗口閉合；當電纜放鬆時，扭力彈簧 (torsion spring) 鬆開，因此使鉗口恢復成開啓的位置。

因此在本例中，你也必須提供足夠的力量，以克服扭力彈簧的壓力。若彈簧本身產生很小的力，則無法使機器手維持開啓的狀態，另一方面，彈簧的力愈大，則機器手閉合系統所需的力愈大。

電纜驅動的系統有許多缺點，應用此種方法的系統，本身必須附加和排列電纜；但是電纜驅動系統有一個主要的優點，亦即機器手內不需要放置一個可控制的運轉元件，因此可減輕總重量。你能定出電纜的路徑，使它從這種型態的機器手往下到機器人系統的基座上。

Armatron

圖 1-18 和 1-19 顯示兩隻手指式機器手的外部和內部的詳細構造，這是來自加州 TOMY 玩具

公司的玩具機械手臂，專為 Armatron 而設計 (Armatron 是 Tomy 玩具公司的註冊商

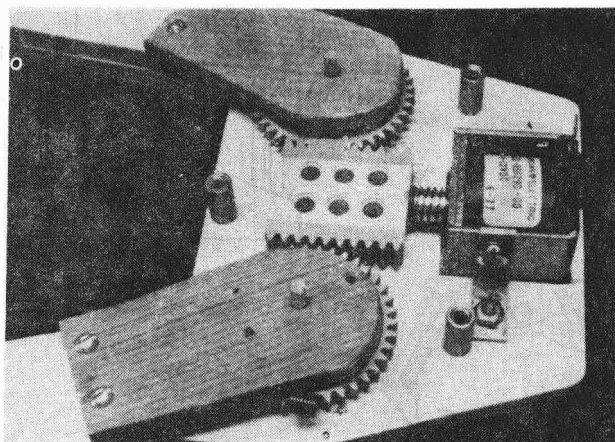


圖 1-14 表示齒條組設計的圖片。

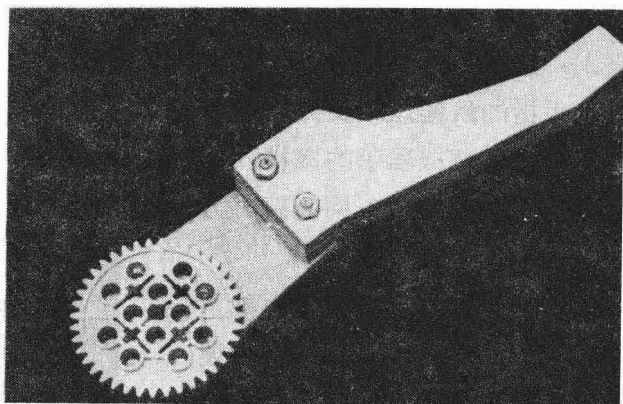


圖 1-15 手指構造的圖片。

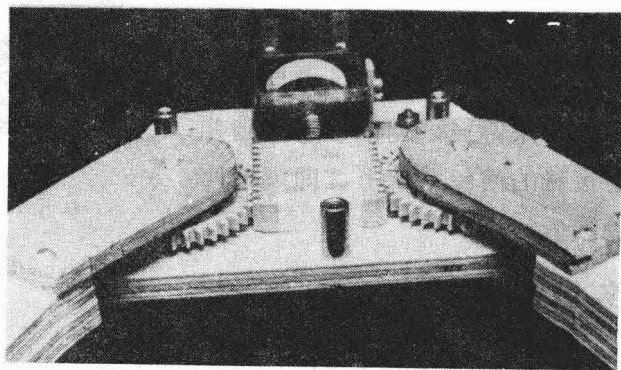


圖 1-16 此機器手顯示齒條組與蝸輪之間的相互作用。