

投稿類別：工程與技術類

篇名：

現代木牛流馬

作者：

許哲璋。臺北市立松山高級工農職業學校。機械科三年仁班

張紹恒。臺北市立松山高級工農職業學校。機械科三年仁班

李芳妤。臺北市立松山高級工農職業學校。機械科三年仁班

指導老師：

胡銘軒老師

蘇瑜賢老師

壹●前言

一、研究背景與動機

在這個科技日新月異的社會，工業的進步使得人類能夠更輕易的從環境中取得資源，但在開發環境的同時不免也會對環境帶來許多的傷害，像是土質鬆軟、樹木抓地能力差等等.....，而台灣是一個水氣旺盛多雨潮濕的國家，每到夏季對流作用旺盛颱風總是接二連三的來，在過度開發及水氣旺盛的作用下自然也就形成了土石流及土石崩落等多種問題。

每當颱風季節來臨，在電視上經常能夠看見山間的重要道路因土石崩落而使其崩塌，使得車輛無法順利運送物資，這時山上的居民就必須採取人力搬運的方式將物資一包一包運上山，使得這種工作的危險性提升也十分耗費人力，因此我們想要設計一種機構能夠在崎嶇地形協助搬運工作，而當我們在構思機構的形式時正好在網路上發現一篇有關三國時代諸葛亮為了北伐時所做的運輸機構——「木牛流馬」，我們覺得這是一項十分有趣的機構，因此我們決定參考網路相關資料做出一個能夠以步行運輸的工具，減少人力運輸風險的現代「木牛流馬」。

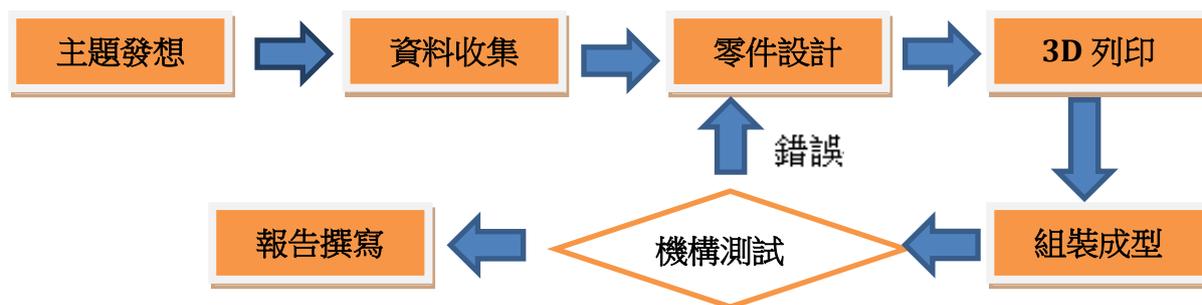
二、研究目的

本作品設計的理念是利用連桿機構使搬運工作達到省力安全的目標，如此一來任何人都能在崎嶇地形上輕鬆的進行搬運工作，依序說明如下：

- (一) 計算木牛流馬的適當連桿長度比例。
- (二) 驗證木牛流馬傳動機件之拘束運動鏈。
- (三) 探討不同連桿的排列方式對木牛流馬行走穩定性之影響。

三、研究流程

在有了主題發想後，我們開始透過書籍、網路收集各種關於連桿運動的相關文獻資料。而此時我們也試著用繪圖軟體設計出可行的連桿機件，再確認一切機構配合無誤之後我們開始運用 3D 列印機將所設計之機件一一印出，再組合成一台現代木牛流馬，但在測試機構的過程中會發現一些軟體無法模擬之問題如：機件干涉、軸孔配合尺寸，為了解決問題讓我們設計的機構能夠正常運行我們將機件長度比例重新設計，直到機構能順利運行為止。在機構完成且能正常運行後我們便開始撰寫此篇報告，而本研究的實驗流程，如圖(1)。



圖(1)現代木牛流馬研究流程

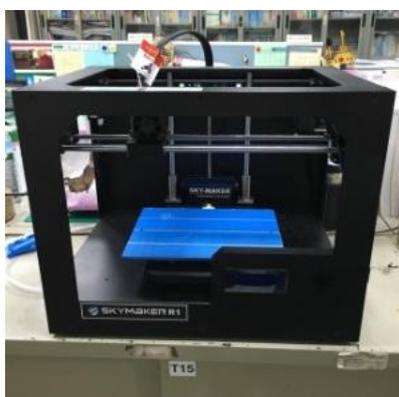
四、研究設備

本研究針對所使用的設備工具機及材料，如表(1)。其各項使用設備之外觀，如圖(2)。分別敘述如下

- (一) 工具機：3D 列印機
- (二) 使用材料：PLA 塑膠
- (三) 使用軟體：AUTOCAD 2012、SOLIDWORKS 2010、SKYWARE

表(1) 材料、工具機表

圖號	名稱	單位	數量	備註
A	3D 列印機	臺	1	
B	PLA 塑膠	捲	1	
C	3M 耐熱膠帶	捲	1	



(A)3D 列印機



(B)PLA 塑膠



(C)3M 耐熱膠帶

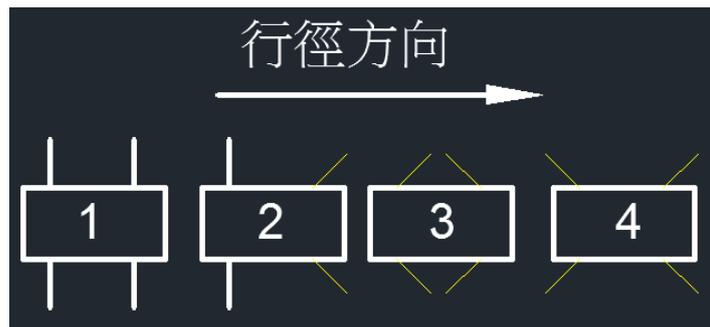
圖(2)各項耗材及設備

貳●正文

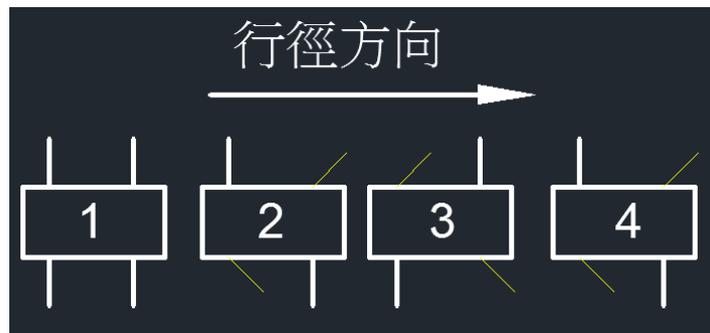
一、行走步伐分析

為了要製作出能以四足步行並且能夠兼具平穩性的載具，我們開始上網搜尋關於四足動物行走步伐的相關資料，經過一番的整理之後我們得知四足動物的行走步伐大致上分為兩種，一種是適合緩慢行走的對角交錯形；另一種是適合快速奔跑的兩側同步形。

我們起初認為兩側同步形的機構能夠以較穩當的方式將貨物送達目的地，但經過進一步的資料整理後我們發現：「兩側同步形在快跑的過程中，兩隻前腳會同時向前邁進，而在前腿落地的同時兩條後腿會抬起並向前推進，並持續這樣的循環，當處於此種步態時，速度很明顯比對角交錯形來的快但重心易發生偏移，較容易發生跌倒的狀況，如圖(3)。而對角交錯形在行走時四肢是對角成對聯繫，雖然速度稍慢但重心永遠保持在兩腳中心的連心線上，因此較不易發生偏斜，能夠使四足動物穩定的行走」，如圖(4)。所以在機構的設計上，對角交錯形應該會比兩側同步形來的妥當。



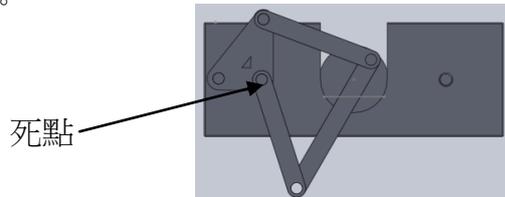
圖(3)兩側同步形步伐分析圖



圖(4)對角交錯形步伐分析圖

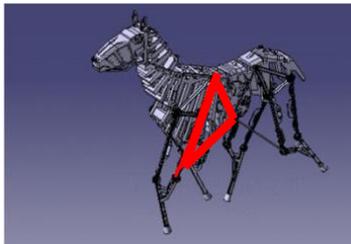
二、連桿設計

由於我們是第一次製作這種運用連桿傳動的機構，因此我們先使用 **SOLID WORKS** 的繪圖功能想要試著畫出能夠簡單運動的連桿機件，但由於一開始我們只是透過網路圖片用目測來判斷連桿的長度及角度。因此，我們所模擬的機構經常發生卡死或無法準確連接等問題，如圖(5)。為了解決這種問題，我們開始搜尋相關資料。

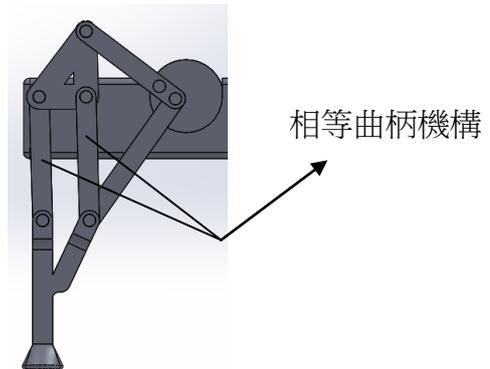


圖(5)機構卡死

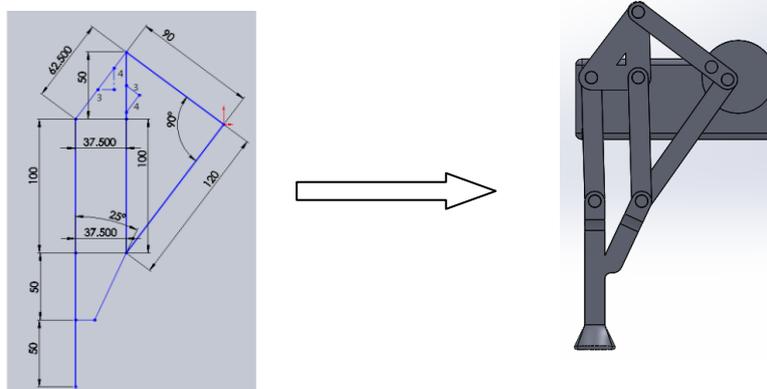
我們透過圖片發現機構傳動時會有一瞬間呈現直角三角形的狀態，如圖(6)。因此我們利用數學幾何的三角形特殊角 37° 53° 90° 的邊長比例關係，再利用相等曲柄機構「**兩曲柄雖等長但轉角不等**」(葉倫祝 2013 b)，的特性達到模擬動物行走的目的，如圖(7)。我們將其發現進行計算並繪製出以下草圖與組合圖其連桿設計，如圖(8)。



圖(6)機構呈現直角三角形



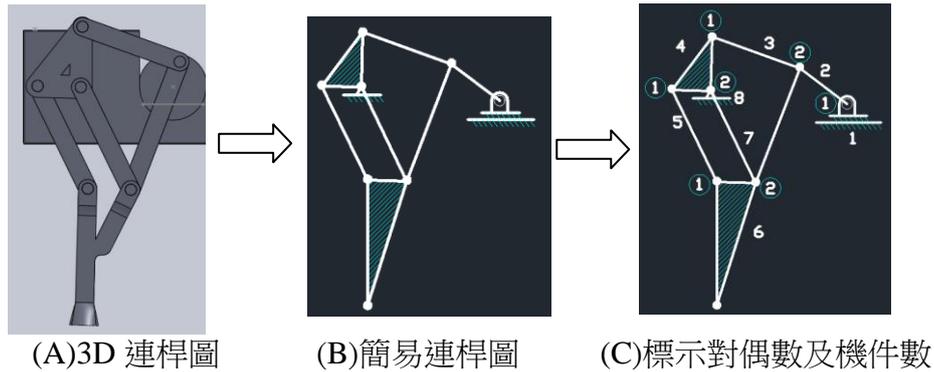
圖(7)相等曲柄機構圖



圖(8)連桿設計

三、機構驗證

為了要確定腿部按照一定的規則移動則腿部機構必須呈現拘束運動鏈的狀態因此我們運用機件原理運動鏈之判別所提，「當 $P > 3/2N - 2$ 必為呆鏈；當 $P = 3/2N - 2$ 必為拘束運動鏈；當 $P < 3/2N - 2$ 必為無拘束運動鏈」的運動鏈判別公式（葉倫祝，2013 a），來驗證我們的機構。首先將機構組合圖繪製出來，如圖(9A)。再將組零件之簡易連桿圖分析並繪製出來，如圖(9B)。隨後將簡易連桿圖上之機件數及對偶數標示出來，如圖(9C)。



圖(9)組零件簡易連桿圖之繪製

由圖(9C)可看出機件數(N)為 8 對偶數(P)為 10，將以上數據套入公式可得此機構為一拘束運動鍊，計算過程如下：

$$\begin{aligned}
 N=8, P=10 \text{ 代入 } 3/2N-2 \\
 &= 3/2 \times 8 - 2 \\
 &= 10 \\
 &\text{滿足公式 } P = 3/2N - 2 \text{ 必為拘束運動鏈。}
 \end{aligned}$$

四、驅動系統

驅動系統可以說是整隻木牛流馬的核心，而我們的驅動系統採用現成的馬達齒輪組配上兩枚 1.5v 的電池加以驅動（維基百科，2013），如圖(10)。而根據「 $(W) \text{ 功率} = (F) \text{ 力量} \times (V) \pi DN / 1000$ 」可知，若是前進的動力不足，增加馬達的轉速是最方便的方法（李榮華，2008）。

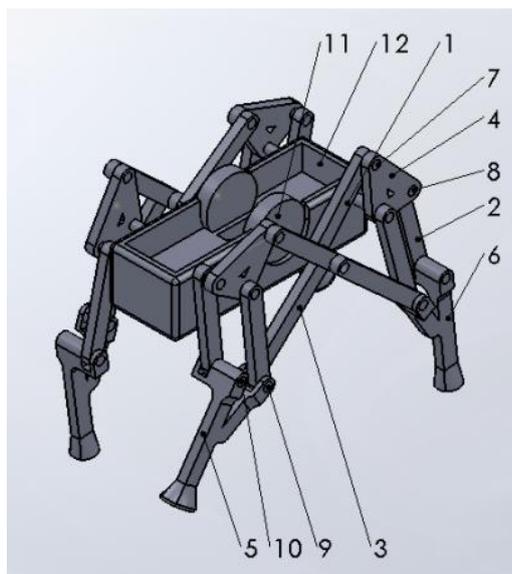


圖(10) 驅動系統組件圖

五、3D 列印機零件製作

(一)零件繪製

為了要將零件數目及其裝配位置表達的清晰明瞭，我們繪製了木牛流馬的立體組合圖，如圖(11)。其零件件號、名稱、單位、數量等之對應的零件總表，如表(2)。



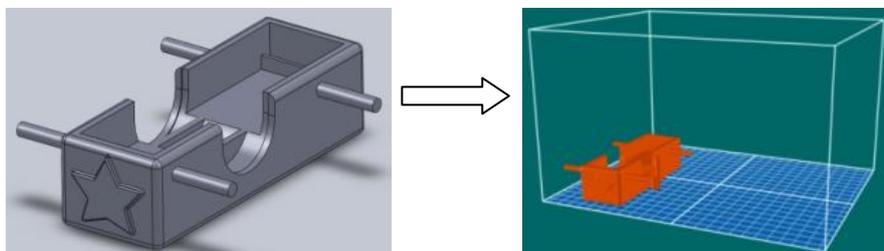
圖(11) 機構設計組合圖

表(2) 零件總表

件號	名稱	單位	數量
1	連桿 90mm	支	4
2	連桿 100mm	支	8
3	連桿 120mm	支	4
4	呆鏈	支	4
5	腳底後	支	2
6	腳底前	支	2
7	銷 ϕ 25mm	支	4
8	銷 ϕ 30mm	支	4
9	銷 ϕ 35mm	支	4
10	銷 ϕ 50mm	支	4
11	轉軸	個	2
12	本體	個	1

(二)程式轉檔

使用 3D 列印機之前必須先將 SOWILD WORKS 的圖檔轉為 STL 檔，再置入 SKYMAKER 編譯軟體內即可生成 G 代碼，如圖(12)。



圖(12)程式轉檔

(三)3D 列印

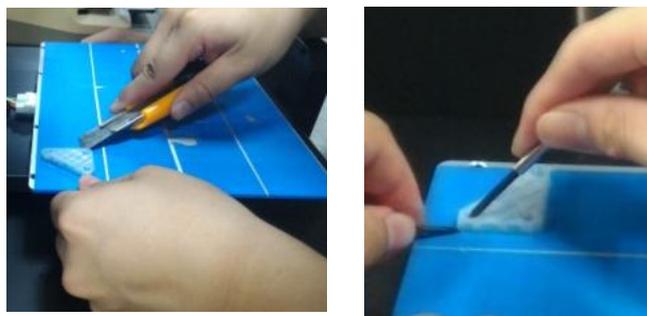
G 代碼生成後即可置入機器內使之成形，在運轉之前平台必須加熱至攝氏 50°C 而進料口必須加熱至攝氏 200°C，機器加熱的目的是為了使 PLA 塑膠融化使之能夠輕易塑形成需要的形狀而且能夠較輕鬆的取下工件，如圖(13)。



圖(13)機器加溫

六、組裝成型

列印完成後即可將零件取下，依零件斷面大小不同可選擇直接用手取下或是使用美工刀螺絲起子.....等工具做輔助，如圖(14)。



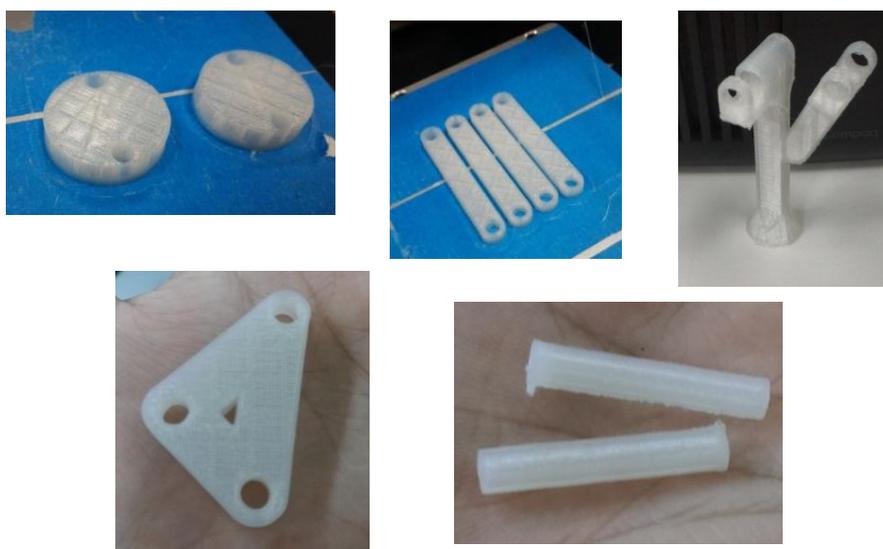
圖(14)使用工具輔助

由於 3D 列印機僅適合做初步的成形，因此在零件成形後還須使用什錦銼及砂紙做修整，如圖(15)。



圖(15)列印完成毛邊修整

在零件修整完後我們開始按表施工將各式零件，如圖(16)。一塊一塊組裝，並且跟傳動系統連接上，完成我們的木牛流馬，如圖(17)。



圖(16)各式零件

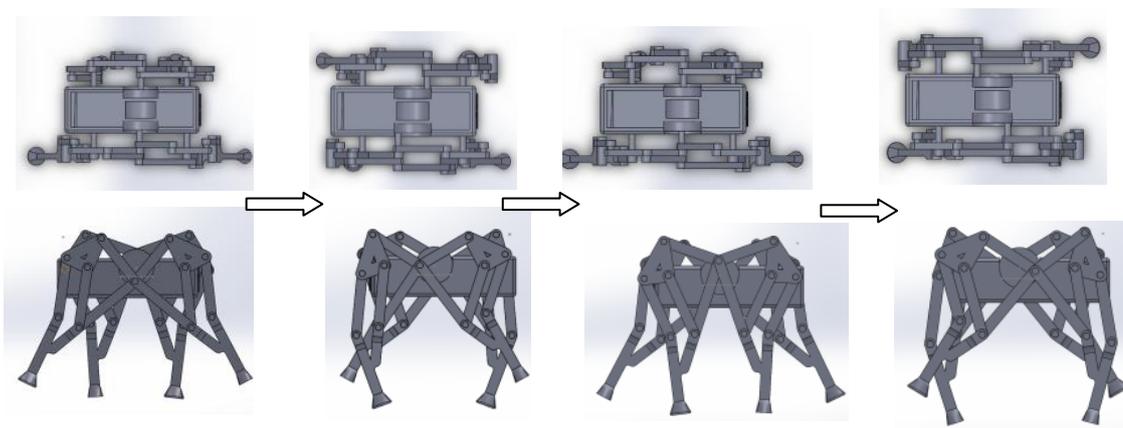


圖(17)組裝成型

七、機構測試

(一) 對角交錯形

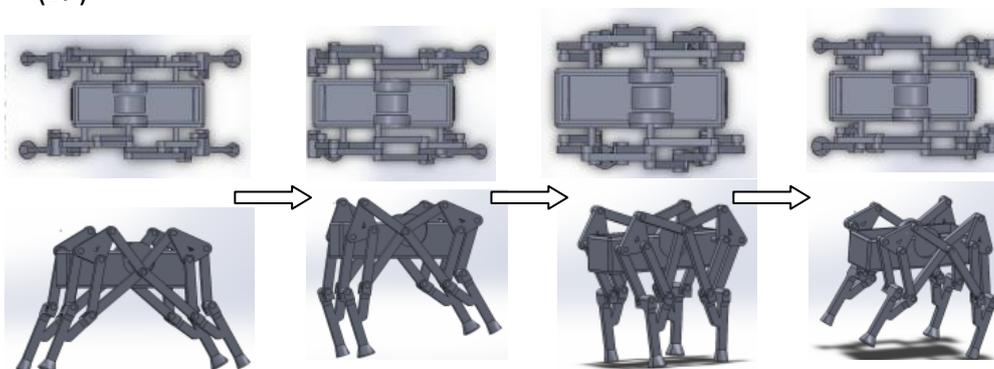
本文先前有提到：「對角交錯形在行走時四肢是對角成對聯繫，雖然速度稍慢但重心永遠保持在兩腳中心的連心線上，因此較不易發生偏斜」，而由 SOILDWORKS 的模擬圖中也可發現對角交錯形的立體模擬圖在行徑時至少都有兩隻腳是呈現展開狀，如此可以使木牛流馬的重心容易較均勻的分佈，如圖(18)。



圖(18)木牛流馬對角交錯形模擬行徑側視及俯視圖

(二) 兩側同步形

而兩側同步形的機構本文先前也有提到：「兩側同步形在快跑的過程中，兩隻前腳會同時向前邁進，而在前腿落地的同時兩條後腿會抬起並向前推進，並持續這樣的循環，當處於此種步態時，速度很明顯比對角交錯形來的快但重心易發生偏移，較容易發生跌倒的狀況」，而由 SOILDWORKS 的模擬圖中也可發現兩側同步形的立體模擬圖在行徑時會有一瞬間出現四隻腳向內縮的情形如此一來的確容易發生頭重腳輕及跌倒的問題，如圖(19)。



圖(19)木牛流馬兩側同步形模擬行徑側視及俯視圖

參●結論

一. 問題討論與心得

這次的專題課程裡，我們全組絞盡腦汁想了很多題目，從最早的磁力車到現在的木牛流馬，在研究過程中雖然我們遇到不少困難，也有好幾次都想要放棄，但幸好都有老師在一旁指導我們，幫助我們一起找出解決的方法。

而我們的研究需要用到一項新興的技術－3D 列印，利用 3D 列印機，我們把設計圖用 SOILDWORKS 畫出來再把零件一個個印出來，組合成木牛流馬，在這三年裡都沒有接觸過這樣的東西，在以前的課程中通常都是作一個個單一死板的零件很少有機會能夠做出像這台木牛流馬一樣有趣的組合件，所以覺得十分特別也很新奇，令我們大開眼界。

至於最後做出來的成品一開始在轉軸上出現了打滑的問題，此問題是因 3D 列印機的精度比起傳統的加工母機要來的低因此會出現孔徑尺寸不準的問題，但經由我們補充填充物之後得到改善，可以讓流馬順利的運行，而就我們所探討的問題我們得到三個結論：第一，連桿機構之長度比例可以利用直角三角形角度與邊長的特殊關係計算而得方可讓機構順利運行；第二，連桿機構必須呈現拘束運動鏈機構才能以一定之步伐前進；第三，對角交錯形的行走方式較兩側同步形來的穩。我們的專題雖然小有成果，但距離實際應用在生活上可能還是有那麼一點的不足，不過在這次的專題課程我們學到的不僅僅是製作機器人，同時也學到了團隊合作的重要性，只要我們有心，什麼問題都能迎刃而解。

二. 未來展望

因為這次的成品只是個實驗品，因此在材料的使用上選擇較方便取得的塑膠，整體大小也偏小，希望未來能夠使用強度較高的金屬作為材料如：鋁，並且將其等比例放大以增加載運量。我們也希望未來能夠將機電整合的技術運用到此機構身上，以提升它操作的便利性以及轉彎的能力，並內建陀螺儀使機構能夠適應各種地形，讓它在使用上能夠更加的人性化以符合我們「利用連桿機構使搬運工作達到省力安全的目標，如此一來任何人都能在崎嶇地形上輕鬆的進行搬運工作」的設計理念。

肆●引註資料

一、葉倫祝(2013a)。機件原理 I。新北市：全華文化。

二、葉倫祝(2013b)。機件原理 II。新北市：全華文化。

三、李榮華(2008)。機械力學 II。新北市：龍騰文化。

四、維基百科(2013)。馬達。2015 年 7 月 26 日，取自

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E5%8A%A8%E6%9C%BA>。