

台灣二〇〇五年國際科學展覽會

科 別：工程學

作品名稱：超越極限的越野蟑螂車

得獎獎項：大會獎佳作

學 校：新竹市立培英國民中學

作 者：林可昀

評語與建議事項：

能夠從蟑螂行走方式來發現其運動時，肢體腳步之配合，進而設計，製作可以在各種地形以不減速的方式前進的機器車，創意不錯，實作能力也很強。日後可以在速度，效能上進一步探討評估，繼續研發。

作者簡介

我叫林可昀，大家都叫我 Kevin，1990 年 3 月 11 日出生於美國華盛頓 DC，小時候在美國長大，一直到 5 歲才搬回新竹市住。

家庭狀況

我是家中的長子，我有一個 3 歲的可愛妹妹，爸爸是大學資工系的教授，媽媽是位音樂老師。從小就受到爸爸媽媽的百般呵護，在充滿音樂和科技的環境中長大。家人對我的期望很大，從小就訓練我要獨立自主、認真負責。

求學過程

小學時，校園生活快樂又自在，平時與同學一起去打球、觀察植物，也常常幫忙老師，並成為老師的小幫手，還記得我曾多次得到模範生獎。升上國中後，我一直擔任副班長，平時為全班紀錄聯絡簿，並跟班長一起帶領全班。我了解到想要得到優秀的成績，必須先付出一番努力，我也學習到要對自己認真負責的重要性。

專長與興趣

我從小就受到家人的影響，因此對於音樂和電腦有濃厚的興趣。平日除了讀書以外，我也有很多休閒活動，例如：拉小提琴、製作網頁、下棋、看小說等。另外，我也很喜歡攝影和研究生活週遭的人事物。

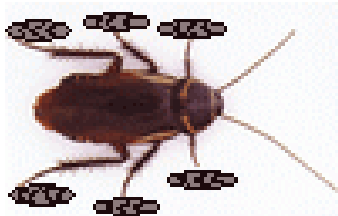
自我期許

我認為世界是一本最偉大的書。它是活的、無形的、隨時變化的，它所含蓋的內容是無窮止盡的。古人曾說過：{ 好鳥枝頭亦朋友，落花水面皆文章 }，如果我們可以在平凡中找到不平凡，便可能挖掘出大自然所展現的知識；藝術家羅丹曾說：{ 這世界並不缺少美，它缺少發現! }，如果我們可以用心去體會大自然的奧妙，相信這個世界會更美!



目錄

壹、摘要	1
貳、前言	2
參、研究過程或方式	3
肆、研究結果	10
伍、討論	20
陸、結論	21
柒、參考資料	22



英文摘要(Abstract) :

An Uttermost Off-Road Cockroach Motocross Vehicle

In this research, I developed a six-wheel driving vehicle simulating the movement of cockroach. The resultant motion machine can un-intermittedly run on terrains without speeding down. Occasionally, I observed that the cockroaches can crossover a heap of rice. Therefore, I was very interested in and eager to learn how cockroach runs. I recorded the movements of cockroaches by using mini web camera and analyzed the moving characteristics of cockroaches. It was discovered that the cockroach marches quickly by interchanging two groups of foot in which each group consists of three feet. As a table can be supported by three legs, the cockroach runs steadily and rapidly. I have designed a motocross vehicle based on the mechanism of the way that cockroach runs. A six-wheel driving car is constructed by modifying four-wheel driving toy cars. By simulating the motion complex of six-foot insects, the six-wheel driving car turns out to be an all-terrain vehicle. To be more objective in comparison, I built two types of six-wheel driving cars by utilizing the LEGO TECHNIC motor building set: one with regular and synchronous rotation, and the other one with eccentric shaft rotation emulating cockroach marching movement. I applied a microprocessor to control the motors in order to maintain the same driving speed (93.33 rpm) for both cars during the road test. The experimental results show that the proposed cockroach motocross car performs superiorly especially for the rugged terrain. In the future, the off-road capability of a jeep can be improved by introducing the concept of six-foot insect movement to vehicle design.

中文摘要 :

超越極限的越野蟑螂車

在本研究中，我模仿蟑螂的行走方式，來製作可以在各種地形以不減速的方式前進的機器車。在偶然機會下，我觀察到，蟑螂可以順利爬越米堆，因此對蟑螂的運動方式感到興趣。我用微型網路攝影機拍攝及觀察蟑螂的行走方式。發現蟑螂在快速行走時，是以三隻腳為一組，六腳兩組交互進行前進的動作。由於三點構成一平面，使蟑螂在快速移動時，相當的平穩。我將此原理融入蟑螂車的設計，並根據這個原理，利用舊玩具四驅車改裝成「六驅車」，成功的製作出模仿六足昆蟲行走方式且可以在各種地形順利前進的機器車。為了更客觀的比較，我應用樂高積木的馬達組合，製作了一部純轉動前進的六輪傳動車，及另一部轉動兼走動的六輪蟑螂車。並利用微電腦控制兩種車維持相同的驅動速度前進(93.33 rpm)，於各種路面實地測試，證實蟑螂車越野的性性能的確強很多。未來若可以將六足昆蟲行走方式的概念應用到汽車製造，車輛的越野性能必然大幅提昇。

壹、前言

一、研究動機

我在偶然機會下，觀察到蟑螂可以在不減速的情況下順利穿越米堆，而且蟑螂沒有因為米堆而打滑、翻倒，因此對蟑螂的運動方式產生興趣。平時我們看到蟑螂，若驚嚇到牠，牠會非常快的跑走。蟑螂的身長約有 4 公分左右，假設蟑螂快速行走時每秒跑 30 公分，若將蟑螂放大 100 倍，變成跟汽車相當的大小(至少有 400 公分)，那蟑螂每秒就可跑 3000 公分，等於時速 108 公里左右，約和汽車高速行駛一般快。

以前曾經製作過馬達機器動物，一種是前進時可以翻轉而不會翻倒的翻滾車(圖一)，一種是模仿毛毛蟲前後蠕動且移動平穩、快速的蟲蟲危機車(圖二)。如果將兩種機器動物的優點融為一體，就能做出行走快速、平穩且不會翻倒的機器動物!

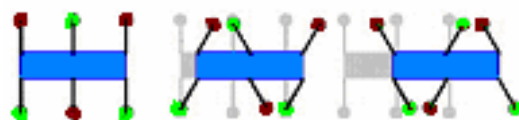
大部分的昆蟲用六隻腳行走，腳部動作的基本型態為後至前，左右腳交替使用。交替過程中，著地的腳共有 3 隻，並且 3 隻腳 3 隻腳互換，以達到前進的效果。當 3 隻腳皆著地時，會呈現最穩最安定的平衡「因為三點可以構成一個平面」，若沒有外力影響，也絕對不會跌倒、搖晃!



圖一、翻滾車(我的舊作一)



圖二、蟲蟲危機車(我的舊作二)



圖三、六足昆蟲行走方式之示意圖

二、研究目的

1. 研究並證明六足昆蟲特殊的行走方式
2. 製作模仿昆蟲行走方式的六驅車
3. 希望將來，可以把昆蟲行走方式的概念應用到汽車製造，使汽車的安全、穩定性、速度大幅提昇並減少交通意外的發生!

貳、研究方法與過程

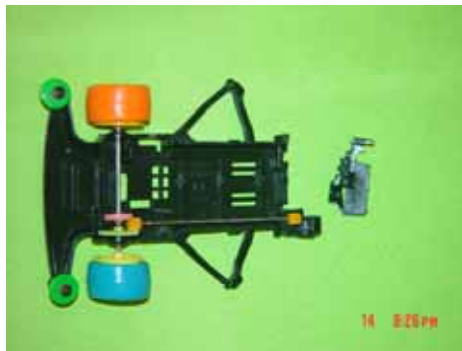
一、觀察蟑螂行走之設備器材

物品名稱	數量	註明
蟑螂	不限	
攝影機	1	
數位相機	1	
玻璃箱	1	以便觀察蟑螂的行走方式
電腦	1	播放攝影內容
食物	1	飼養蟑螂
長聶子	1	夾蟑螂用
飼養箱	1	大小由飼養蟑螂之數目而定

二、製作六驅車之工具材料

物品名稱	數量	物品名稱	數量
剪刀	1	尖嘴鉗	1
砂紙	1	斜口鉗	1
馬錶	1	馬達	4~5
電線	不限	電池	不限
強力膠	1	輪子	12 以上
美工刀	1	齒輪	不限
十字起子	1	四驅車底盤	2 以上

製作六驅車之工具材料 - 附圖



三、觀察蟑螂行走的方式

1. 實驗蟑螂：美洲蟑螂(*Periplaneta americana*)的成蟲雌雄各三隻，取自國立臺灣師範大學生命科學系蟑螂實驗室。蟑螂培養於飼養箱中，每週換水與食物(小麵包)一次。



圖四、蟑螂置於飼養箱中



圖五、蟑螂的活動狀況



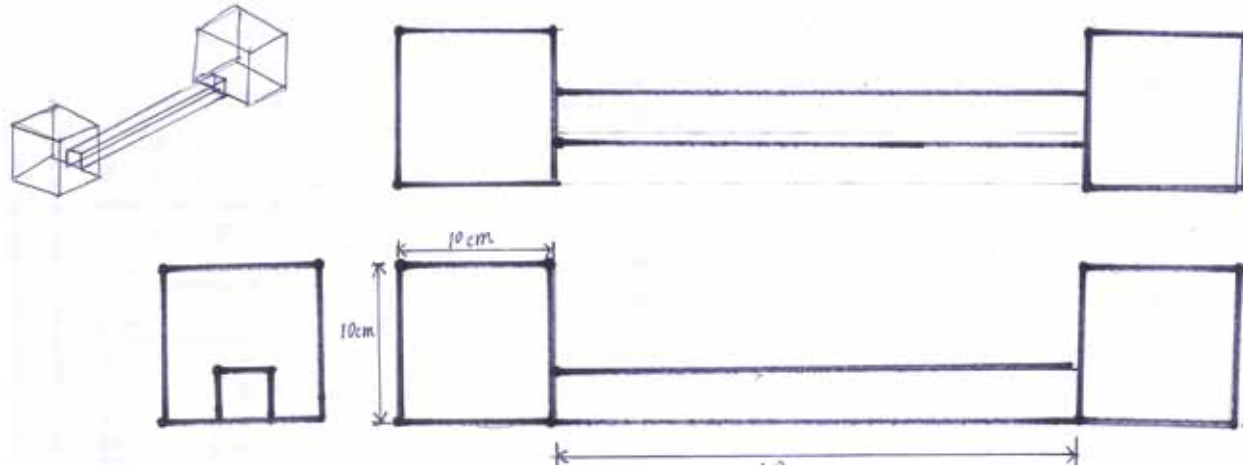
圖六、蟑螂的生活狀況



圖七、蟑螂攀爬在牆上

2. 觀察蟑螂行走的實驗設計

(1) 我設計並訂做一個壓克力小走廊，當蟑螂走動時，就可以方便且清楚的觀察到蟑螂的特殊行走方式。(如下圖八、九)



圖八、壓克力走廊之設計圖



圖九、壓克力走廊之成品

(2) 將攝影機架設在壓克力小走廊的下方。



圖十、架設攝影機



圖十一、實驗環境



圖十二、模擬攝影狀況



圖十三、採用迷你攝影機(解析度相同)



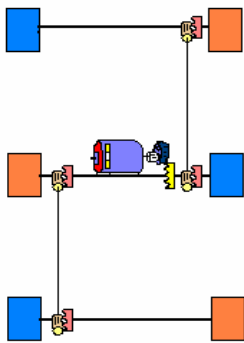
圖十四、拍攝範圍之長度

(3) 從下面用攝影機拍攝每一隻蟑螂的行走過程。

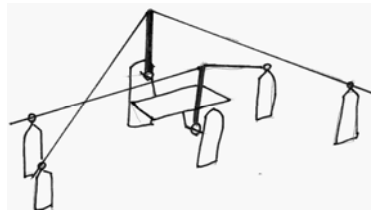
(4) 將迷你攝影機拍攝的檔案存入電腦，再觀察每隻蟑螂行走過程的畫面，並記錄每一次蟑螂的腳步移動過程。

四、製作六足昆蟲車

1. 拆開舊的四驅車，並仔細觀察四驅車的傳動方式以及齒輪。
2. 設計新的傳動方式達到一次轉動三個輪子並交互前進，讓傳動方式跟六足昆蟲行走的模式相同。最後我設計出兩種傳動模式：



圖十五、設計一



設計二

3. 由於第二種設計的製作太過於困難，材料零件也不足夠，所以選擇設計一來製作。
4. 開始改裝
 - (1) 爲了將兩組車身底盤結合爲一，便將車身底盤切割，讓車身可以連結在一起。後來發現切割車底工程較大，可能會影響到馬達運作，也會有不穩的現象。所以我直接將兩台未切割的底盤連結在一起。
 - (2) 由於訂作不到夠長的六角形驅動桿軸，所以將短桿軸焊接起來，使其長度增加。



圖十六、桿軸焊接前

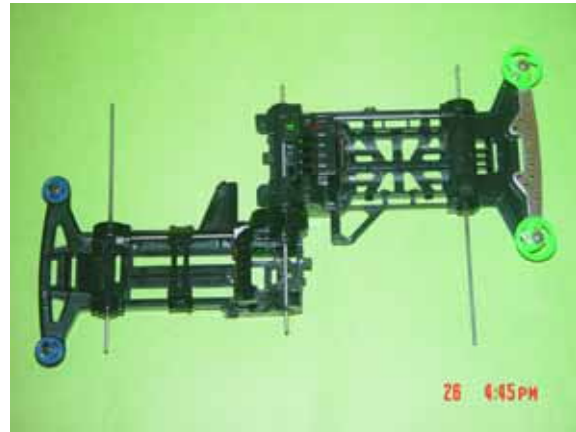


圖十七、桿軸焊接後

(3) 車身連結: 將兩台未切割處理的底盤和焊接完的桿軸組裝在一起。組裝完成後，把可能阻礙到輪子滾動的部分底盤割除。

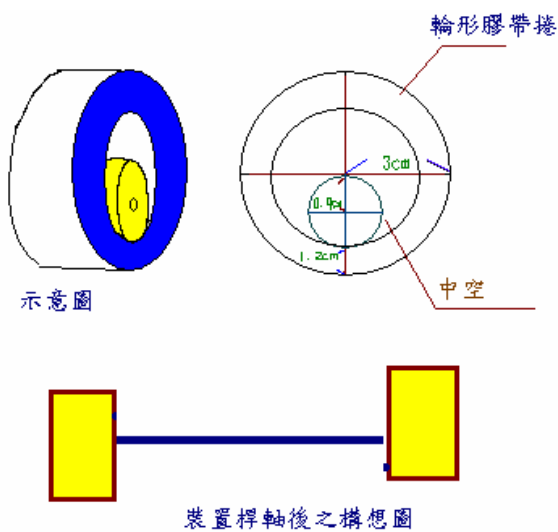


圖十八、底盤連結



圖十九、部分底盤割除

(4) 設計輪子: 爲了讓轉動時桿軸負荷的重量減低，我用膠帶滾輪當作輪胎主體，並在滾輪外加捆鐵氟龍材質之止洩帶，增加滾輪的摩擦力並保護滾輪。最後將四驅車原有的塑膠輪子用強力膠黏在滾輪內側。



圖二十、輪子設計圖



圖二十一、完成品

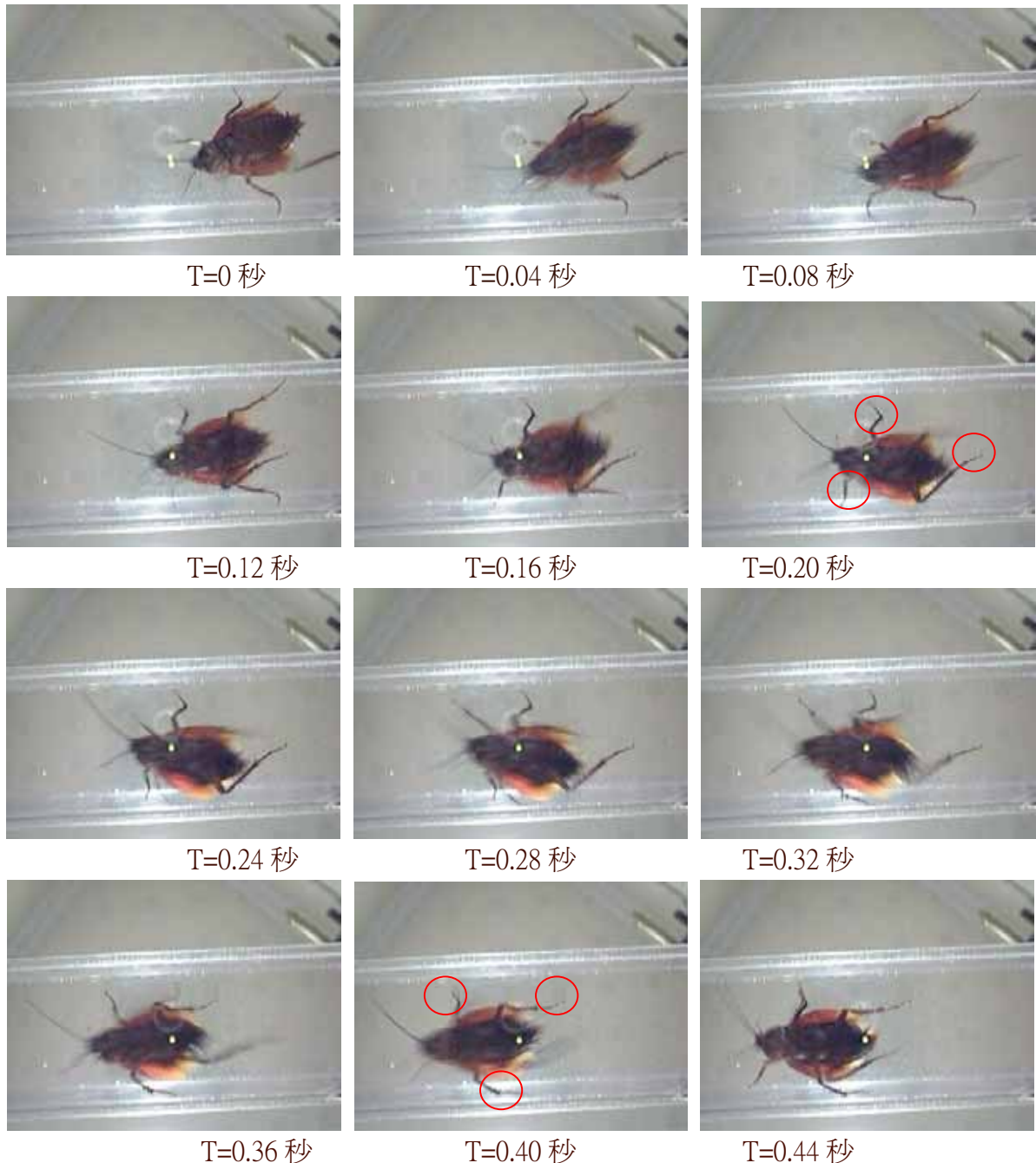
二、 測試

1. 昆蟲車是否能在各種地形上快速移動?
2. 六足昆蟲車是否比四驅車還要快?
3. 移動時，是否 3 個輪子著地?

參、 研究結果

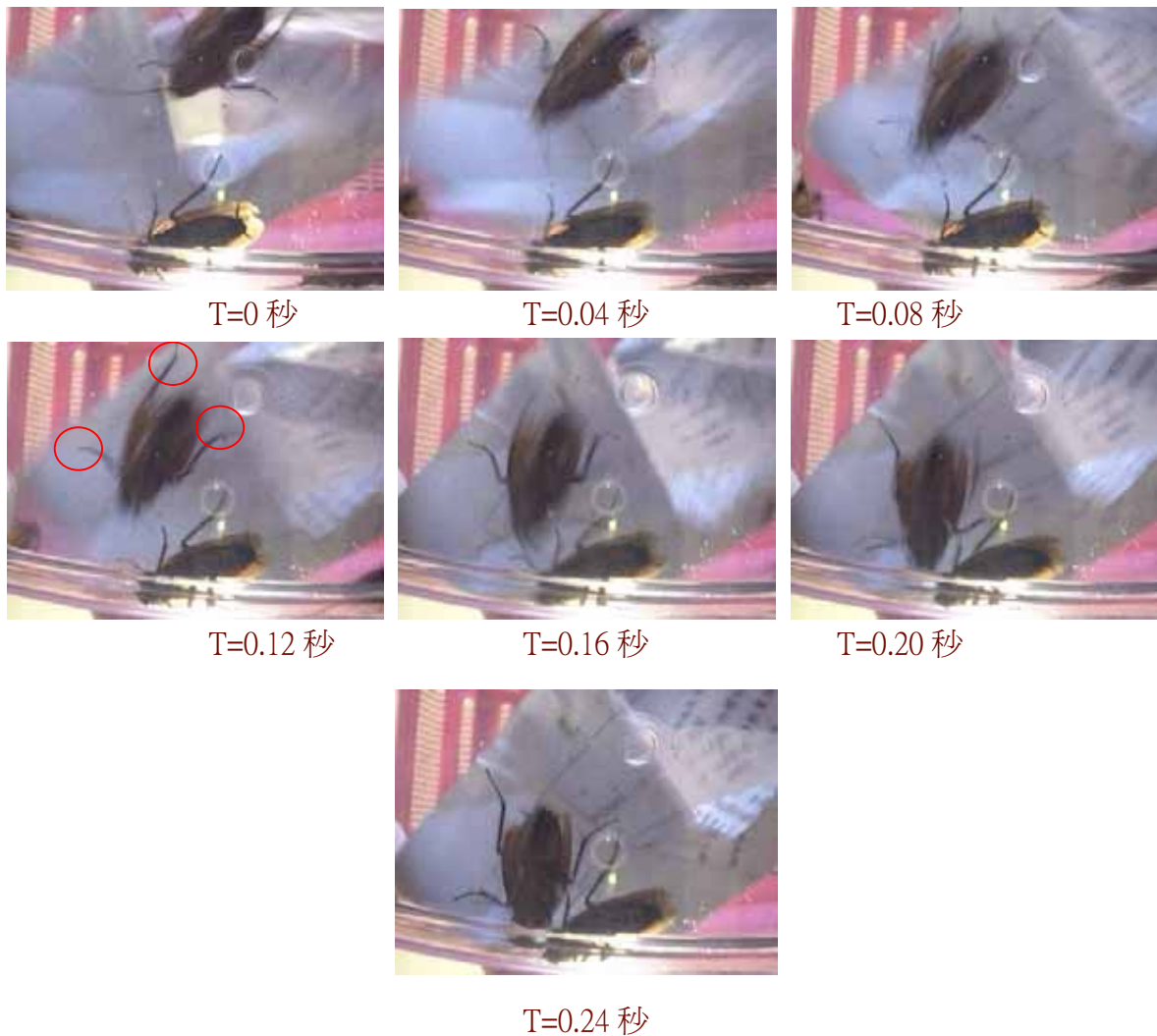
一、 觀察蟑螂行走的方式

觀察蟑螂後，發現蟑螂快速走動時的確是以三隻腳為一組並互相交替，達到前進的效果。因為使用數位攝影機，可以把錄影的結果轉成數位影像檔案，根據錄影時間及影格的總數，可以計算出蟑螂在每一個的移動速度。如下圖二十二



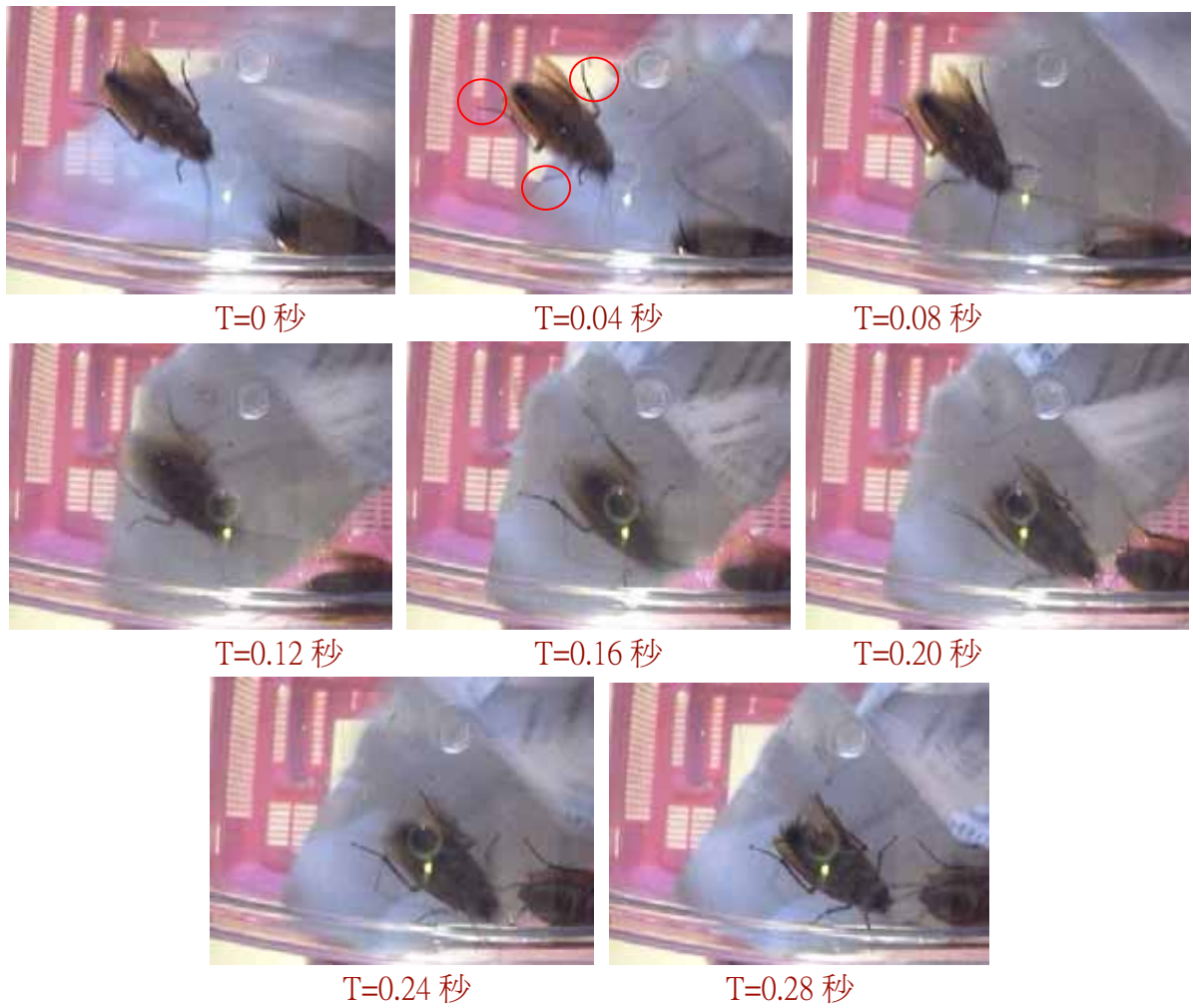
圖二十二、蟑螂快速移動的分解畫面，時間共 0.44 秒，每個影格 0.04 秒。0.44 秒內，共移動了 4 公分，所以速度是 9.09cm/sec。

當蟑螂在逃竄時，也發現是以三隻腳為一組，並互相交換並前進。如下圖二十三



圖二十三、蟑螂逃竄移動的分解畫面，時間共 0.24 秒，每個影格 0.04 秒。

螳螂在短距離快走時，仍然是以三隻腳為一組，並交換已達前進之效果。如下圖二十四



圖二十四、螳螂短距離快走的分解畫面，時間共 0.28 秒，每個影格 0.04 秒。

二、 螞蟻車測試



圖二十五、車子側面圖









圖二十六、完成品

我將完成的螞蟻車和四驅車同時在各種地面上移動，發現在平滑地面時，四驅車的速度明顯比螞蟻車快 2~3 倍。但在崎嶇不平的路面上，卻發現四驅車無法直線前進，甚至無法移動，而螞蟻車可以直線前進且較不晃動，速度也穩定多了。證實「三點可以構成一個平面」能夠呈現最穩定的平衡。

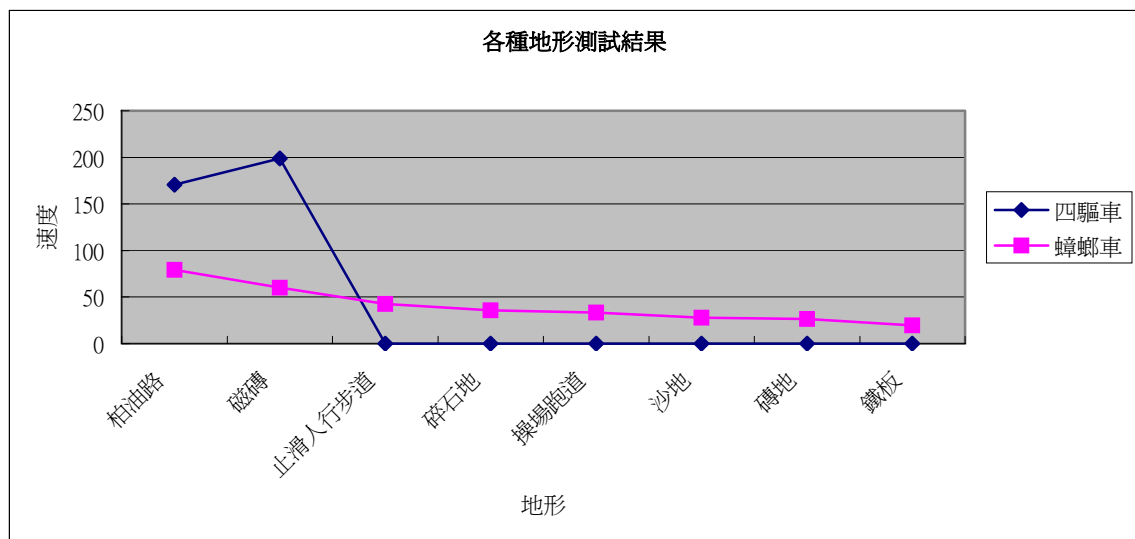
從表一及圖二十七來觀察，得知螞蟻車的穩定度及越野能力確實比四驅車來的好，螞蟻車也確實符合「在各種地形上能呈現最穩定、最安全並持續前進的機器車」的構想。

各種路面測試結果:

路面狀況	四驅車	速度	螞蟻車	速度
柏油路		203/1.19 =170.6cm/sec		203/2.56 =79.2 cm/sec
磁磚		330/1.66 =198.8cm/sec		330/5.5 =60 cm/sec
止滑人行步道		幾乎無法前進		100/2.34 =42.7 cm/sec

碎石地		根本無法前進		100/2.8 =35.7 cm/sec
操場跑道		幾乎無法前進 (方向會斜一邊)		50/1.5 =33.3 cm/sec
沙地		根本無法前進		100/3.6 =27.7 cm/sec
磚地		幾乎無法前進 (方向會斜一邊)		150/5.06 =26.6 cm/sec
鐵板		幾乎無法前進 (方向會斜一邊)		50/2.54 =19.6 cm/sec

表一、各種地形測試記錄表



圖二十七、各種地形測試結果

三、 樂高螞蟻車測試

在測試完螞蟻車與四驅車在各種地形上的越野性能後，爲了要再得到更加精準的數據，所以我必須控制變因，控制螞蟻車與一般六輪車的重量、馬達扭力以及齒輪的傳動模式等。爲了達到控制變因，我決定採用樂高積木、樂高微電腦以及精密齒輪來製作車體。



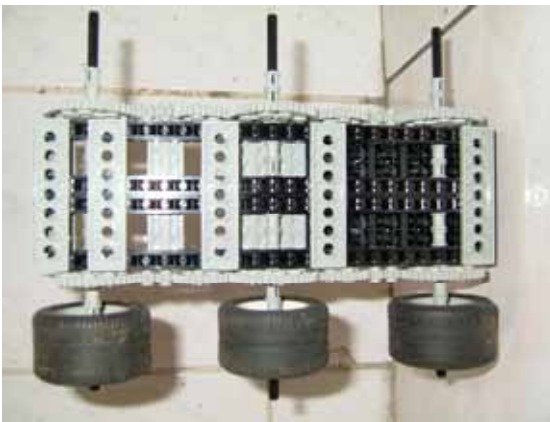
圖二十八、樂高積木、樂高齒輪



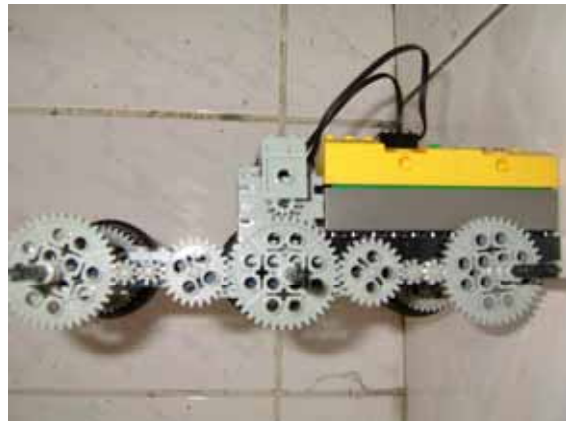
圖二十九、樂高電腦、樂高零件

1. 設計樂高車體

爲了要得到精準的數據，所以必須設計出車底結構相同，且可以隨時改裝輪子，成爲六輪偏心或六輪同心。這樣就可以讓車子在重量與馬力相同的條件下，進行不同的運動模式來測試與比較。我在設計傳動裝置時，選擇用每分鐘 350 轉的馬達，並用 12 齒小齒輪來帶動 40 齒大齒輪，這樣即可增強扭力，在進行爬坡或越野時，不僅可以減少電池的耗量，移動時也比較順利。



圖三十、車底結構底視圖



圖三十一、齒輪傳動側視



圖三十二、六輪同心軸側視圖



圖三十三、六輪偏心軸側視圖

2. 設計樂高電腦程式

為了控制車子用同樣的馬力和時間，所以我們利用樂高所提供的 ROBOLAB 軟體來設計撰寫程式。最後設計出的程式流程為：啓動樂高微電腦後，倒數 2 秒後開始以馬力值 5 來進行移動，移動持續 6 秒後，停止電腦輸出並結束。

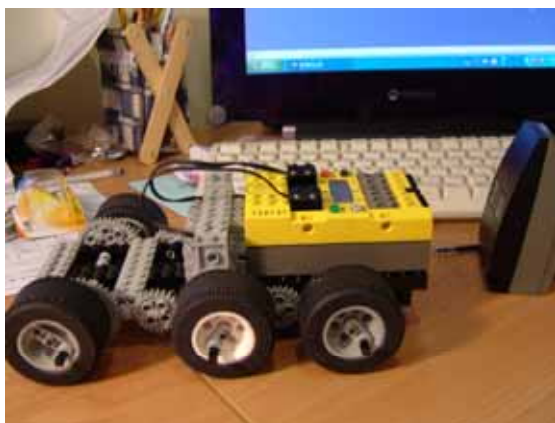
設計撰寫完成程式後，利用樂高所提供的 ROBOLAB 軟體將程式用紅外線輸入至樂高微電腦中。



圖三十四、ROBOLAB 軟體畫面



圖三十五、撰寫程式之過程



圖三十六、紅外線輸入程式示意圖



圖三十七、設計程式之工作畫面

3. 測試

當程式設計輸入樂高微電腦後，我們就把完成的樂高蟑螂車和樂高六輪車在各種地面上移動來進行測試，並用迷你攝影機拍攝車子在移動時的狀況與畫面。我們共在磁磚、磚地、細柏油路、粗柏油路、人行步道、鐵板、操場跑道、小石塊及大石塊上進行測試。我們固定車子的移動時間為 6 秒，再測量車子的移動距離。每種路面測試 5 次，最後計算數據的平均值。





圖三十八、石塊上的測試與攝影(一)

圖三十九、石塊上的測試與攝影(二)


測試 樂高偏心螞蟻車 固定時間: 6 秒 數據單位: 公分 cm

地形	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
 磁磚	122	112	108	117	115	116.8
 磚地	117	107	109	114	113	112
 細柏油路	111	109	105	106	104	107
 人行步道	100	98	101	95	97	98.2
 粗柏油路	96	92	96	92	86	92.4
 鐵板	90	91.5	93	91	89	90.9
 操場跑道	86	78	82	83	81	82

 小石子路	84	67	75	80	77	76.6
 大石子路	36	24	26	53	29	33.6

表二、樂高偏心螞蟻車測試結果

測試 樂高同心六輪車 固定時間: 6 秒 數據單位: 公分 cm

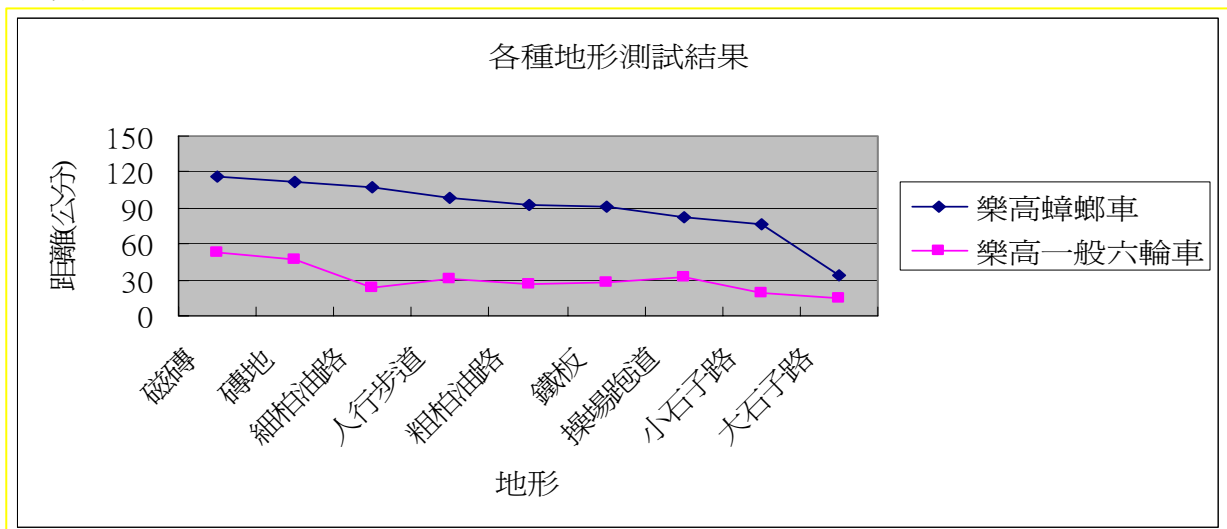
地形	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均值
 磁磚	52	53	52	54	56	53.4
 磚地	48	47	51	46	45	47.4
 細柏油路	22	20	24.5	27	24	23.5
 人行步道	26	33	27.5	32	35	30.7
 粗柏油路	24	28.5	25.5	22	30	26

 鐵板	37	27.5	29	25	22	28.1
 操場跑道	37.5	35	31	30	29	32.5
 小石子路	19	21	26	15	13	18.8
 大石子路	10	22	16	16	9.5	14.7

表三、樂高同心六輪車測試結果

在測試完樂高螞蟻車與樂高六輪車的越野性能後，發現樂高螞蟻車在各種地形上都擁有極優良的表現。有趣的發現，樂高螞蟻車在設計時，因為特別增強扭力，所以樂高螞蟻車是以滾動加跳動來進行前進，不僅加強越野能力，更彌補了速度的不足！

在經過控制變因的測試後，發現在同樣的馬力、扭力、重量以及傳動系統的狀況下，六輪偏心擁有最佳的越野性能及速度，而六輪同心在各種地形上並沒有較突出的成績，但擁有較平均的性能。



圖四十、各種地形測試結果圖

肆、討論

Q1:同樣的觀察實驗方法，可不可以應用到其他動物?

A:可以，例如：我們可以用快速攝影的方式來觀察馬在奔跑時，四隻腳的運動狀況。根據百科全書記載，馬在慢速行走的時候，是四隻腳依序輪流移動，可是當馬在奔跑時，是兩隻前腳為一組，兩隻後腳為一組，用跳躍的方式前進。

Q2:同樣的觀察實驗方法，可不可以應用到其他物體飛行現象?

A:可以，例如：有些人，從事研究飛彈路線改變或爆裂物的爆裂過程，他們為了觀察到更精細的變化，便使用超高速攝影機，這種攝影機每秒可拍影格為 500 格。所以有非常多詳細的分解動作就可以觀察並研究。

Q3:既然模仿了蟑螂快速移動的行走方式，照理說應該要比四驅車快，為什麼蟑螂車的速度會比四驅車慢許多呢?

A:其實是因為蟑螂車的重量太重，導致速度慢。設計蟑螂車的基本結構時，只設計將一個馬達放置底盤，在加上兩組底盤、六個輪子以及電池的總重量，似乎一個馬達沒有辦法完全負荷得住。所以顯得有點馬力不足。

Q4:未來若可以將六足昆蟲行走方式的概念應用到汽車製造，是否可以應用到其他領域?

A:是的，例如：精神號火星探測車，長 1.6 公尺，寬 2.3 公尺，高 1.5 公尺，重量約 160 多公斤，體積大小如同高爾夫球車，動力來源是如餐桌大小的太陽能板。車上配備 9 部攝影機四處張望判斷地形特徵，包括裝置在頂部桅杆和六個輪子上。



圖四十一、美國太空總署的火星探測車精神號。

伍、結論

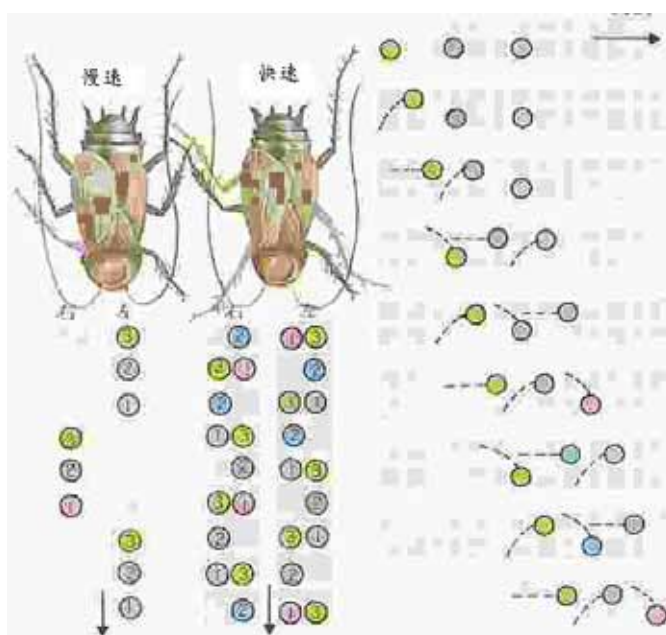
經過多次實驗觀察，確實發現蟑螂在快速行走時，是以三隻腳互換來進行前進的動作(圖四十二)。由於三點構成一平面，使蟑螂在快速移動時，相當的平穩。我將此原理融入蟑螂車的設計，成功的製作出模仿六足昆蟲行走方式且可以在各種地形前進的機器車!

當我完成蟑螂車後，發現它的速度並不是非常理想，耗電量與車子的總重量也超出之前預測的範圍。從整個車子總體來看，其實它很脆弱，由於這台蟑螂車是將舊的玩具拼湊改裝而成，所以不管是穩定、速度或結構的安定性，都還需要加強。

爲了更客觀的比較並加強車子的各種性能，我應用樂高積木的馬達組合，控制車子的馬力、扭力、傳動模式等變因相同，製作了樂高蟑螂車和樂高六輪車。之後利用樂高微電腦控制兩種車維持相同的驅動速度前進，並於各種路面實地測試，證實蟑螂車越野的性能的確強很多。有趣的發現，樂高蟑螂車在設計時，因爲特別增強扭力，在進行爬坡或越野時，可以減少電池的耗量、移動時比較順利，所以樂高蟑螂車是以滾動加跳動來進行前進，不僅加強越野能力，更彌補了速度的不足!

如果能把蟑螂車的設計，完全用訂做的方式製作，不管是結構穩定或是行走速度都會大幅提昇，而這台蟑螂車將會非常完美!並成爲能夠在各種地形上順利移動且不減速的『極限越野蟑螂車』。

最後，希望在未來，可以將六足昆蟲的快速行走方式，加入在製作交通工具的設計。這樣，不僅可以減少交通意外的發生，更可以讓交通工具的性能與安全大幅提昇!



圖四十二、蟑螂慢行(左圖)及快行(右圖)的腳步分解圖[1]

陸、參考資料

- [1]. 牛頓現代科技大百科 11，環境科學(I)-動物行爲與環境，牛頓出版股份有限公司，pp.189—190，1989年
- [2]. 寺園淳也，成功登入火星-找出有水的證據! 牛頓雜誌 2004年4月號，牛頓雜誌，4月號，pp.24—29
- [3]. 步行 Robot/步行機械
網站:ecaaser3.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/LifeScience/ 機器人研發近況.html
- [4]. e天下雜誌，2002年9月，8種新科技，創造「小叮噹式」的未來，將你的身體「升級」：仿生學（Bionics） 網站: <http://www.techvantage.com.tw/content/021/021126.asp>
- [5]. 生技時代 雜誌，「仿生學」效法萬物打造未來科技新世界！
網站: <http://www.bio-era.com.tw/modules.php?name=News&file=article&sid=1318>
- [6]. 顧凡及，仿生學 Bionics
網站:<http://ecaaser3.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/LifeScience/MoreBiomimic.htm#a7>