

教育部112學年度中小學科學教育專案【期末報告大綱】

計畫名稱：連桿機構設計在多元選修仿生學課程的進階應用

主持人：簡汎佐

E-mail：ftchien@smhs.hlc.edu.tw

共同主持人：徐維燦

執行學校：花蓮縣私立海星高級中學

一、計畫執行摘要

1.是否為延續性計畫？（請擇一勾選） ☐是 ☒否

2.執行重點項目（請擇一勾選）：

- ☐ 環境科學教育推廣活動
- ☒ 科學課程教材、教法及評量之研究發展
- ☐ 科學資賦優異學生教育研究及輔導
- ☐ 鄉土性科學教材之研發及推廣
- ☐ 學生科學創意活動之辦理及題材研發

	3.辦理活動或研習會等名稱	4.辦理活動或研習會對象	5.參加活動或研習會人數
1	顆粒流探究實作	海星中學高一學生	87
2	蠕蟲仿生學機械實作	東華大學仿生課程學生	65
3	顆粒流探究實作	花蓮高中	25
4	連桿機構原理以及應用	台東公東高工(遠距)	14
5	蠕蟲仿生學機械實作	新竹曙光女中(遠距)	30
6	Algodo 物理動態模擬實作	台北木柵高工	22
7	蜘蛛仿生機械實作	苗栗苗栗高中	26
8	動態模擬在教學上的應用	中崙高中(教師專業研習)	23
9	顆粒流與地震專題	台中女中(教師專業研習)	5

6.參加執行計畫人數：

姓 名	服 務 機 關 單 位	職 稱
主持人:簡汎佐	花蓮縣私立海星高級中學	物理教師
協同主持人:徐維燦	花蓮縣私立海星高級中學	物理教師

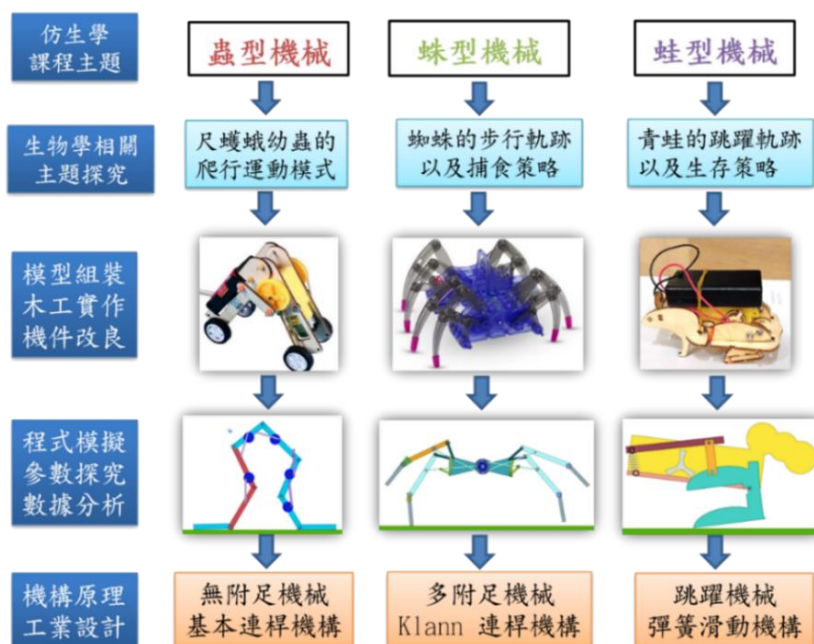
7.辦理/執行成效：（以300字以內為原則，若為延續性計畫，請說明與前年度之差異）

本校於高一探究與實作課程中全面進行物理動態模擬的基礎教學，以顆粒流為主題，引導學生認識參數以及選擇實驗條件的範圍，藉由以 Algodoo 對照組實驗結果的比對，探究影響巴西豆現象顆粒分流的原因。之後，在高一高二多元選修課程的仿生學課程中，本校教師進一步引導學生以 Algodoo 應用連桿機構設計仿生機械，同時比對實體機械模型的運動模式，以大數據進行量化，並且依照數字處理結果進行機械的改良。此系列課程透過跨區交流，推廣至苗栗高中、台中女中、曙光女中等校。

二、計畫目的

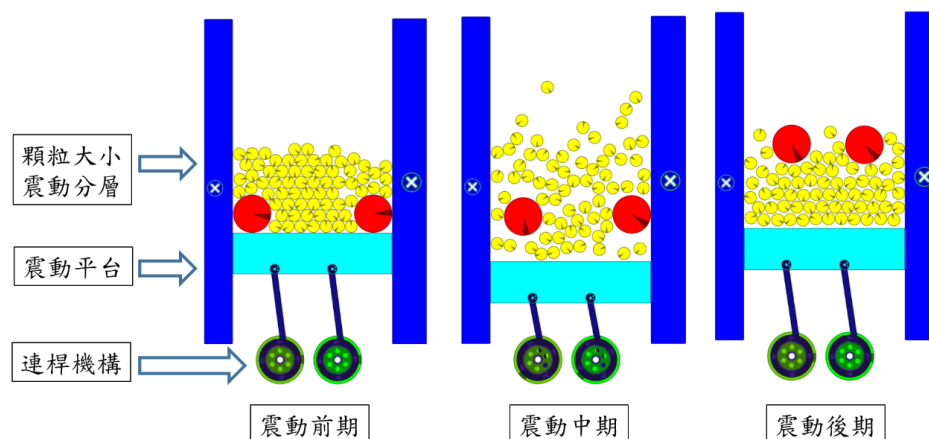
本校自在111年應用具有友善操作介面的電腦動態軟體 Algodoo 進行仿生機械相關課程，使學生不因為程式的編碼過程感到挫折，能快速以程式模擬機械原理。最後能從物理動態模擬的結果擷取經驗，修正實體仿生機械，達到更好的仿生效果。課程中，教師以連桿機構為主軸，開發蟲型機械、蛛型機械以及蛙型機械課程。同時引導學生從生物學演化的概念出發，思考無附足動物、多附足的運動，以及跳躍性運動模式在演化上的發展歷程，深入探究生物運動特色與環境間的關係、以及覓食獵食上的優勢。

目前市面上已有蟲型、蛛型以及蛙型機械這三項仿生模型。我們訓練學生能夠藉由組裝模型，熟悉看組裝步驟說明書。之後，再引導學生思考如何改裝模型，使學生能更深入認識機械設計原理。由於直接改良仿生模型需要對機械設計原理、模型材料屬性、工程機構等方面有一定的認識，在改良的過程當中同時需要足夠的材料以及工具進行測試。所以，一般的模型組裝課程往往受限於課程時間以及課程經費，無法讓學生發揮創意，只能遵從「食譜式」的教學模式，一步步照著教師的指令完成。有鑑於一般制式的仿生學課程，我們將引入 Algodoo 這個動態模擬系統，強化學生在工程機構的原理探究歷程。



圖二：仿生機械課程發展策略

連桿是仿生機械中常用的機構，單一的馬達驅動就可以創造出生物附足運動模式。以工程常用的連桿機構為例，但是，如果學生要進行連桿的改良，光是尋找具有合適的轉速和扭力的馬達就需要相當的經費支援，再加上需要切割材料、鑽孔攻牙所需要的時間，這樣的課程就只能侷限在小規模學期型的專題課程中。然而，如果我們使用 Algodoo 這個二維空間牛頓力學模擬軟體，學生不僅可以輕易嘗試各種不同的材料屬性，更可以及時更改馬達的轉速和扭力，尋找使連桿達到最佳表現的條件。在課程中，學生不僅可以發揮創意繪製連桿，更可以在虛擬環境中應用連桿設計大型機具，如分離不同顆粒大小物體所使用的震動平台，更實際的連結連桿的學理與工程上實際應用。



圖三:應用 Algodoo 程式模擬兩種不同大小顆粒在振動平台上的位移

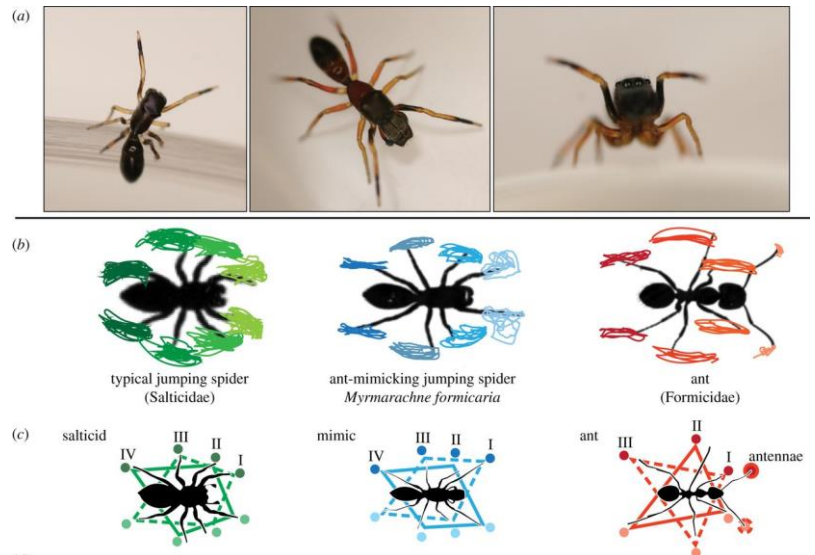
本計畫除了延續111年計畫仿生學課程發展，本年度將強化連桿機構設計，以及仿生模型實作與 Algodoo 動態模擬課程結合，以下以蜘蛛運動模式探究結合蛛型機械為例說明課程發展流程。



圖四:仿生蛛型機械課程規劃

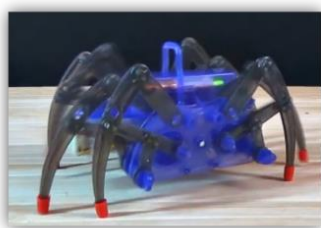
在課程開始階段，教師首先就生物學範疇，引導學生認識蜘蛛的基本結構以及蜘蛛在各種不同的生態環境下所演化出不同的捕食策略。之後，教師將以蜘蛛步行軌跡的學術論文為範本(Proc. R. Soc. B284: 20170308)，使學生從論文的圖表中學習如何量化蜘蛛各肢體在運動過程中的位置變化，同時了解擬蟻跳蛛可藉高舉前肢模仿螞蟻觸角的擺動，不著痕跡的進入蟻群達到獵食效果(圖五)。

圖五：跳蛛、擬蟻跳蛛、以及螞蟻的步足跡在運動中的變化(本圖選自“Walking like an ant: a quantitative and experimental approach to understanding locomotor mimicry in the jumping spider *Myrmarachne formicaria*” Proc. R. Soc. B284: 20170308)

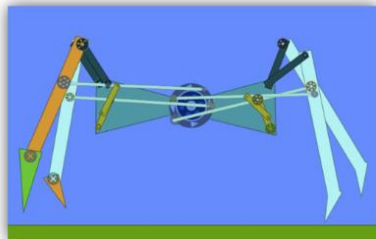


在認識蜘蛛的運動特性後，學生將從組裝簡易的蜘蛛模型出發，實際體驗由簡易的連桿機構所驅動的「伸展-收縮」的運動模式。在組裝完後，在課程中將進行蜘蛛機械直行計時競賽。競賽時，學生不但可以觀察並比較同班同學模型運動的快慢，也可以調整自己的連桿機構細節，使模型能運作地更流暢。接續競賽的活動，教師將更深入地引導學生思考如何就模型進行改良。

在實際操作層面來看，在足部增加摩擦力，或是增加腳步跨距，或是增加馬達轉速都是可能可以增加蛛型機械的前進速度。在實際針對模型進行改裝前，教師將引進動態模擬系統 Algodo，使學生能夠可以先期在虛擬的空間裡面，深入的思考在模型裡面有哪些參數會影響運動模式：例如步足的大小、步足與接觸面的摩擦力、連接連桿的構件張角大小、馬達的轉速以及模型兩端長短比例等等。由於在動態模擬的系統當中可以非常輕易地收集數據，從數據裡面學生可以歸納哪一個參數是影響運動最重要的因素。藉由這樣的探究過程，學生可以在從動態模擬的結果上反思如何在模型上做更有效的改裝。教師將藉由此計畫採購改裝模型所需要的元件，例如不同大小的輪子、不同轉速和扭力的馬達等元件，使學生能進一步在真實的蛛型模型上做改裝，驗證動態模擬的結果。



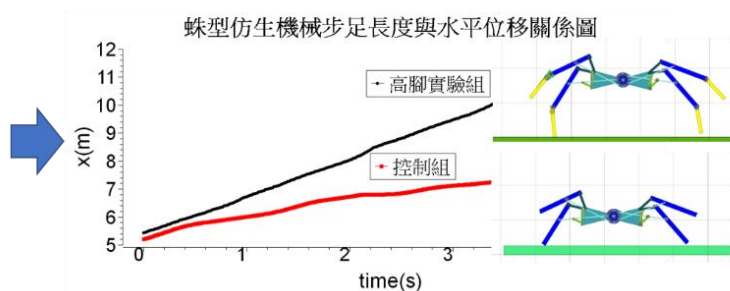
實體模型組裝製作



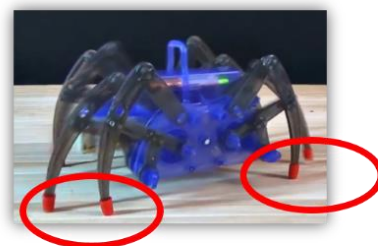
Algodoos物理動態模擬



量化運動軌跡



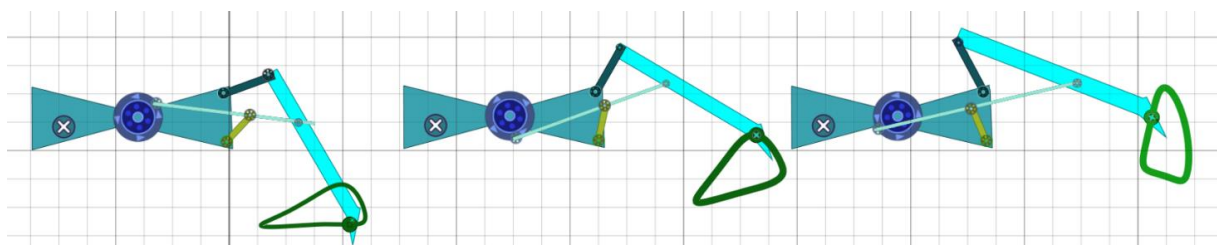
以Algodoos進行實驗參數系統性測試



依據模擬結果進行實地改良

圖六:Algodoos 動態模擬課程流程示意圖

從簡易的蜘蛛模型進階到真實的蜘蛛仿生機械是一個非常複雜的過程，其中牽涉到材料和工程機構上多方面的考量。學生要從設計、切割材料、組裝機件一路到完成成品需要非常多的時間。此時，Algodoos 動態模擬系統提供我們一個在修正機械設計上非常實用的平台。學生可以從單一蜘蛛步足出發，能輕易的結合連桿機構創造出可以往返擺動的效果(圖七)，而且可以調整角度，重新配置重量，改變摩擦力等係數，



(a) 最大水平位移

(b) 對照組

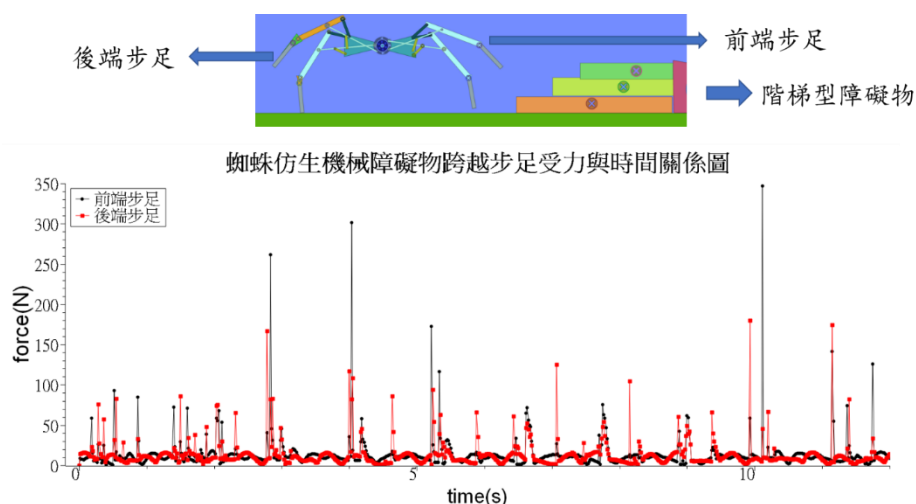
(c) 最大垂直位移

圖七：單一步足設計對照圖：比對不同連接點以及連桿長度所創造出步足末端的運動軌跡

增進仿生機械運動的流暢度。在這個動態模擬虛擬空間裡面，學生不但可以不受材料的限制發揮各項創意，深切的體驗各項機械設計原理；更可以藉由分組討論和彼此觀摩，回顧在課程初期對蜘蛛運動模式的知識，藉由增加步足數目以及相對應的圖層，精進仿生機械的運動細節設計。

學生使用 Algodoos 動態模擬系統不但可以視覺化仿生機械的運動過程，更可以記錄過程中所有參數的變化。學生可以藉由繪製圖表，進一步對模擬細節做量化分析，在分組合作學習比較視覺化後的實驗數據，比較個別仿生機械的運動仿生程度。

我們計畫在課程中發展以 SciDavis 為分析工具的分析策略。Scidavis 為一開源軟體，其功能可類比於高等教育界經常使用的 Origin 軟體。學生可使用 SciDavis 將數據處理成視覺化圖形後，藉由比較圖形間的差異，思考如何正確且精準的以數據評判仿生機械與真實生物個體的相似程度。同時，學生也可以使用此種圖形量化比較自己和同學間仿生機械的差異，創造更多小組討論以及互相學習的機會。當學生掌握了圖形比較的策略，他們可以將更多的數據量化成圖形，包括各步足的受力情形、各體節的移動速度、相對應連桿所需要的馬達扭力等，深入了解在仿生機械設計中在實際場域中因材料剛性以及工程機構特性所受的限制。以圖八為例，學生可藉由比了解前端步足會在短時間內經歷極大的受力變化，步足會在短時間內經歷極大的受力變化，因而認識在真實場域中需要選擇能承受高強度力量而不斷裂的材質作為前端步足的製造材料。



圖八:特定步足在運動過形中的受力強度

在本計畫規劃中，學生將不只能熟悉如何以物理模擬先期設計仿生機械裝置，並且可以依據模擬實驗的結果，改良在課程初期所組裝的輪蟲機械模型，使模型的運動可以更貼近真實尺蠖蛾幼蟲的移動方式。在學生熟悉所有的工程連桿操作原理，並改良仿生機械裝置後，我們將結合各項感測器的設置，賦予仿生機械偵測環境條件的功能。例如，在仿生機械上加裝聲音、溫度等感測器，使仿生機械能在困難地形，如建築物縫隙、水溝渠道，進行測量。另外，教師將引導對於此項主題有高度興趣的學生，在仿生機械裝設視覺辨識系統，使學生能真實體驗以昆蟲視角觀測地形變化，還可以進一步結合人工智慧視覺辨識，使蟲型機械能自動化辨識地形變化。

本計畫規劃以112學年上半年時間，循序漸進完成 Algodoo 的基本操作教學教案、實驗設計與探究實作課程，並建立非同步教學資料庫。由於本校多元選修仿生學課程在112年下學期開設，上學期製作的非同步教學資料庫，不僅可以作為學生在課後複習的課程材料，更可以更廣泛的提供其他未修習仿生學課程學生自主學習的內容，達到資源共享的目的。另外，在課程發展過程中，我們將成立教師發展專業學習團體，針對結合仿生機械與感測器內容，安排每月固定的教師專業發展研習，持續培育校內課程種子教師。

三、研究方法

本年度課程發展區分為基礎課程以及進階課程。基礎課程將著重在 Algodoo 的基本操作，同時連接高中物理課程中的拋體運動、單擺運動主題作課程延伸探究，過程中優化112年度所發展課程。進階課程將針對蛛型、蛙型機械作課程開發。年度課程規劃如下：

課程名稱	物理動態模擬軟體在高中多元選修仿生學課程的實作應用		
授課年段	普一		學分數 2
領域	校訂必修、多元選修		授課教師 教師專業發展社群
單元	主題		內容綱要
1	動態模擬 基礎課程	Algodoo 基本操作	物件導向程式語言操作簡介
2		圓周運動、簡諧運動	運動軌跡探究
3		顆粒流漏斗阻塞	賞析國際科展得獎作品 探究科展題目潛在參數發展延伸問題 顆粒流實驗實作驗證模擬實驗結果
4	仿生學 進階課程	單擺複擺運動探究 四足機械製作	單連桿機械裝置實作 單連桿機械裝置模擬運動參數探究 多連桿機械裝置設計
5		蛛型機械	多圖層連桿機械裝置實作 多附足機械設計原理探究 蛛型機械發展以及應用
		仿生機械感測器	AI 影像辨識 環境監控(音量計、溫度計、溼度計) 物聯網大數據處理

仿生學進階課程部分，將組織跨領域教師發展專業社群開發蛛型機械課程。課程規劃如下：

領域/ 科目	自然/物理	設計者(團隊)	簡汎佐、徐維燦
實施 年級	高一、高二	授課教師	簡汎佐、徐維燦
預計實施 日期	專題以及多元選修課程	總節數	6節
單元 名稱	蛛型仿生機械探究		

學習目標	1. 認識蜘蛛生活史、棲地、覓食行為、以及運動形式。 2. 認識演化上附足數目對物種生存優勢的影響。 3. 學習閱讀說明書，使用工具組裝蜘蛛模型。 4. 認識 Algodoo 動態模擬在連桿機構上的應用。 5. 進行仿生實驗設計以及仿生機械模擬。
學習表現	1a-Vc-1能主動察覺生活中各種自然科學問題的成因，並能根據已知的科學知識提出解決問題的各種假設想法，進而以個人或團體方式設計科學探索實驗操作方法。 2c-Vc-1能合理運用思考智能、製作圖表、使用資訊與數學等方法，有效整理資訊或數據。 2d-Vc-1能理解同學的探究過程和結果(或經簡化過的科學報告)，提出合理而且較完整的疑問或意見。並能對整個探究過程中：包括，觀察定題、推理實作、數據信效度、資源運用、活動安全、探究結果等，進行反思、形成評價與改善方案，作為未來改進與提升能力的基礎。
學習內容	資 T-V-1數位合作共創的概念與工具使用 PEb-Vc-4牛頓三大運動定律。 PEb-Va-1質點如在一平面上運動，則其位移、速度、加速度有兩個獨立的分量。 PEb-Va-2直線等加速運動(如自由落體運動)，其位移、速度、加速度與時間的數學關係。
核心素養呼應說明	自-U-A2能從一系列的觀察、實驗中取得自然科學數據，並依據科學理論、數理演算公式等方法進行比較與判斷科學資料於方法及程序上的合理性，進而以批判的論點來檢核資料的真實性與可信性，提出創新與前瞻的思維來解決問題。 自-U-B1能合理運用思考智能、製作圖表、使用資訊與數學運算等方法，有效整理自然科學資訊或數據，並能利用口語、影像、文字與圖案、繪圖或實物、科學名詞、數學公式、模型等、或嘗試以新媒體形式，較廣面性的呈現相對嚴謹之探究過程、發現或成果。
與其他領域的連結	自然/生活科技
教學設備/資源	電腦、投影機、仿生機械模型、Algodoo 動態模擬、Scidavis 數據分析軟體

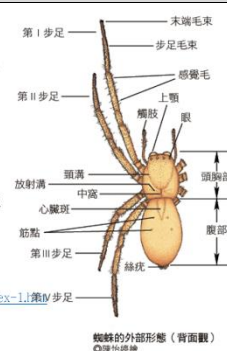
教學活動簡報設計

說到蜘蛛，你想到甚麼？



伊威在室，蠨蛸在戶 詩經

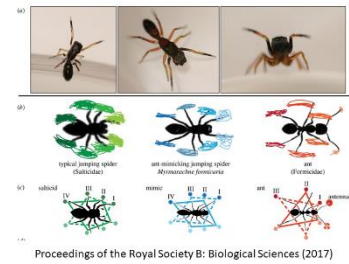
- 恐蛛症 (Arachnophobia)
- 節肢動物門蛛形綱蜘蛛目
- 蜘蛛的結構
- 蜘蛛絲的特性以及應用
- 造網性蜘蛛、徘徊性蜘蛛、寄居性蜘蛛
- 蜘蛛與它們的棲地
- 蜘蛛的運動模式
- 台灣常見蜘蛛圖鑑
- <http://subject.forest.gov.tw/species/twspider/index-11.htm>



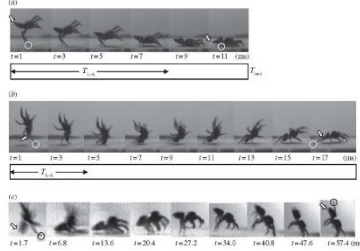
演化與動物運動模式



走路和捕食

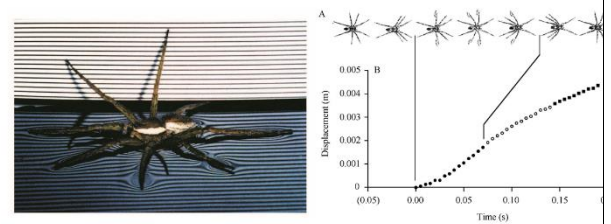


蠅虎軌跡分析



Journal of The Royal Society Interface 10(87):20130572 · July 2013

介面運動_第二對、第三對滑行



The Journal of Experimental Biology 200, 2523–2538 (1997)

飛行的秘密

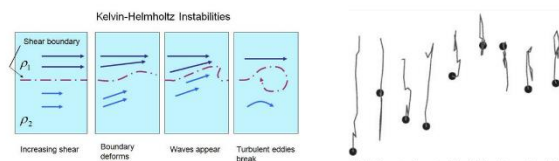


Fig. 4 Kelvin-Helmholtz shear instability resulting in the formation of turbulent eddies and mixing.

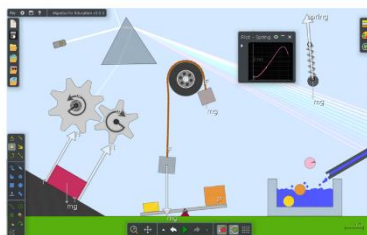
Women in Mathematical Biology: Research Collaboration Workshop, NIMBioS, Knoxville, June 2015 (pp.163-178)

錯誤也是一種啟發

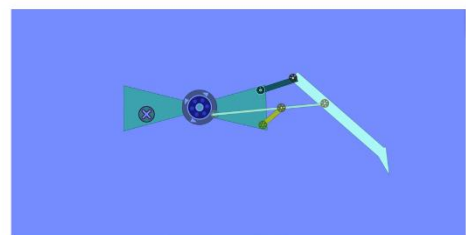


https://www.youtube.com/watch?v=vwJxP_TqQw&list=RDCMUCmCZ-oLEnCgmBs_TMqI9afw&index=5

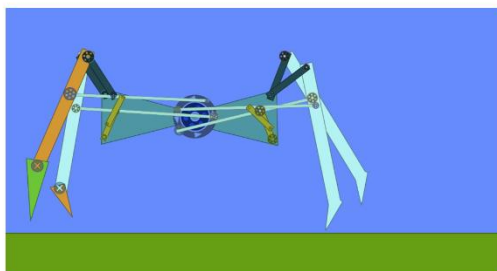
模擬蜘蛛以及參數測試_Algodoo



連桿設計



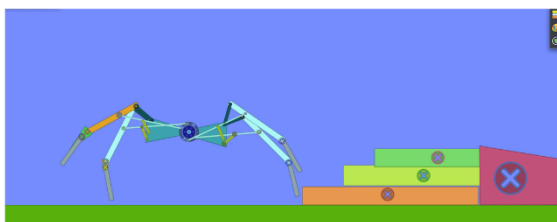
圖層與連桿結合應用



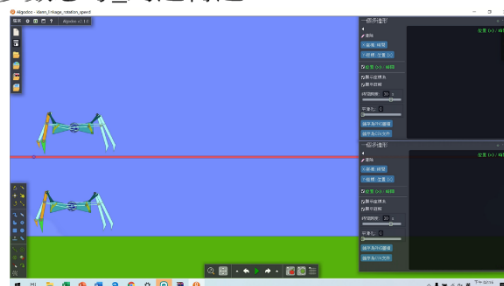
不同表面移動



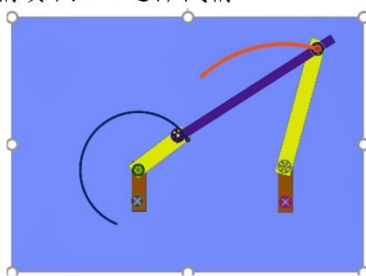
障礙物跨越



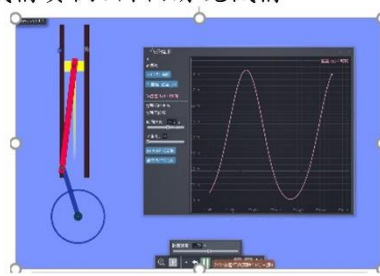
參數思考_馬達轉速



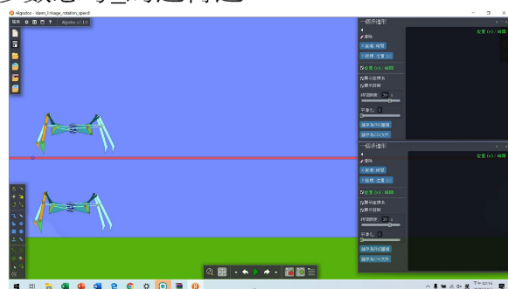
連桿機構實例:四連桿機構



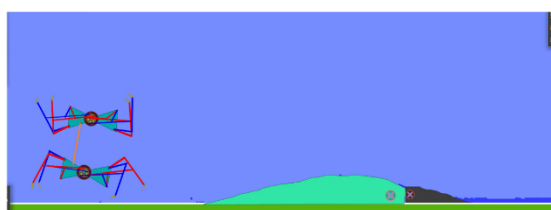
連桿機構實例:曲柄滑塊機構



參數思考_馬達轉速



錯誤?瘋狂?啟發?



如何增加前進速度 以及環境適應

馬達轉速、步幅、高低差、摩擦力、連桿區柄張角
滾動、滑動、摩擦、高低差

問題回顧

- 蜘蛛有何特色
- 蜘蛛的運動方式有幾種?各有甚麼優勢?
- 機械蜘蛛如何用一個馬達創造入足運動?
- 電腦模擬機械蜘蛛如何測試參數?
- 模擬的結果如何提供實際機械的設計?

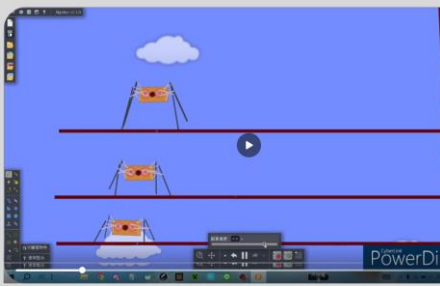
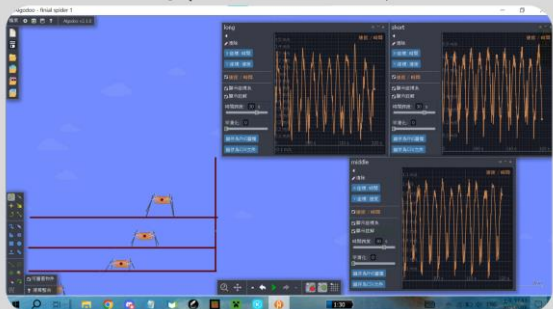
四、研究成果

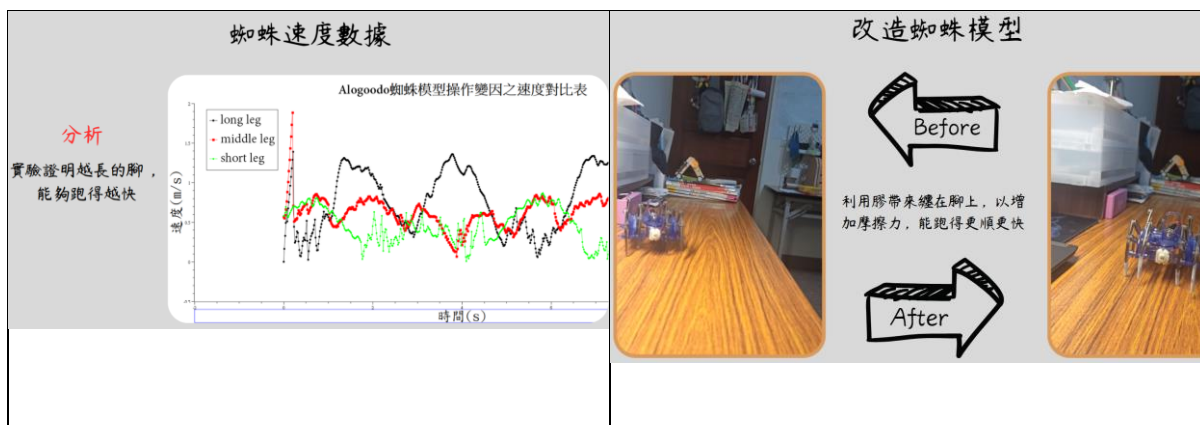
在本年度的計畫執行過程中，我們一方面以校內的多元選修「仿生學」課程作為課程研發的實作場域，一方面也將安排推廣此創新物理教學方式。成果條列如下：

1. 發展以 Algodoo 為工具進行物理探究課程的教學模式。
 - a. 於校內校訂必修探究實作課程中應用教學影片進程式教學。
 - b. 於本校國中端寒假暑假輔導課程期間，應用物理模擬進行理化科教學。
 - c. 與東華大學教育學院合作，在自然科教師師培課程中分享課程教學策略。

2. 推廣仿生學課程。
 - a. 結合仿生學機械模型製作以及工程連桿模擬程式設計，辦理高中寒暑假科學營隊。
 - b. 結合花蓮區域國中來校參與一日課程體驗活動中，安排虛擬實境物理模擬課程，認識虛擬實境在學習上的應用以及物理模擬在實驗設計上的優勢。
 - c. 辦理自然科跨領域教師專業發展社群，辦理自主學習數位課程。依計畫發展主題延伸物理模擬應用至化學領域以及地球科學領域。
3. 強化教師遠距示範之專業能力。
 - a. 培養具備 Algodo 教學專業能力之師資，由授課教師進行教學演示，同時邀請東華大學教育學院教授進行教學質性以及量化分析。
4. 發展遠距教學教材教案。
 - a. 依據計畫期程發展物理學科主題式教案。
 - b. 應用 Algodo 進行仿生學主題教學取得先期成果，由單連桿機械延伸至多連桿機械的機件模擬。

5. 學生仿生蜘蛛機械專題研究成果如下

 蜘蛛運動探究 報告人:陳宥學	目錄 1. 蜘蛛簡介 2. 蜘蛛運動方式 3. Algodo操作變因實驗 4. 實驗過程(照片) 5. 蜘蛛速度數據 6. 改造蜘蛛模型 7. 心得感想
蜘蛛簡介 蜘蛛是蛛形亞門節肢動物，有兩個體段，八隻腳，但沒有咀嚼器官。截至2023年6月，共有132個科、4325個屬、51164個種。蜘蛛目是蛛形綱中數量最多的一個目。研究蜘蛛的學科稱作蜘蛛學。以生活及捕食方式可以大致分成：<u>結網性蜘蛛</u>和<u>遊獵性蜘蛛</u>。蜘蛛對人類而言，並非餐桌上的食物，甚至懼而遠之，但一些地區如柬埔寨素昆地區是以販賣蜘蛛為業。大部分的蜘蛛無害於人，作為一種益蟲，蜘蛛也會在農田中捕食啃咬農作物的害蟲。現代醫學證實蜘蛛的毒素對治療腦充血、癲癇、腦退化症、腦動脈硬化等疾病有療效。蜘蛛絲是一種絲蛋白，堅韌而富有彈性，可製造人造血管、人造肌腱，強度是鋼的5~6倍，可製造防彈衣。蜘蛛絲還曾被用在狙擊槍上的狙擊鏡管之中作為十字瞄準線；不過，以蜘蛛絲製作瞄準線，對各國軍火局而言成本過高，因此，在成本較低廉的人造纖維出現之後，蜘蛛絲就逐漸地被其所取代。 	蜘蛛運動方式 • 爬行 • 飛行 • 滾動 • 游泳 • 跳躍
Algodo操作變因實驗 操作變因 腳的不同長短 中間為1倍 上方為1.5倍 下方為0.5倍 	實驗過程(照片) 



心得感想

在聽到說要做蜘蛛模型之後，原本還怕怕的說會不會很難做，在學期初的時候老師說在學期末會做一隻蜘蛛模型，重點是還說這是最難的部分，再組裝的時候，我知道之後要做出Algodoos的蜘蛛仿生獸，所以我就在邊組裝的時候就邊想說在做的時候該怎麼做，這也讓我之後再做蜘蛛仿生獸的過程中比較順利。在製作過程中，我覺得蠻順利的，最需要注意的就圖層的部分，因為只要圖層有撞到，就有可能導致整個機器壞掉，但我在剛做完的時候忘記要改圖層，在老師的開導之後，我也把我的蜘蛛仿生獸做出來了

五、討論及建議（含遭遇之困難與解決方法）

本年度規劃發展蛛型機械。但由於多元選修是分學期開課，再加上學生需要更多的時間了解 Algodoos 物理動態模擬的操作細節。未來還需要續對蛛型和蛙型機械的教案先期的修正和測試。在學生的回饋方面，學生對於這種結合實體和模擬的工具結合非常的有興趣，學生不僅知道機械工程，更能學習生物科技等跨領域的知識。另外本年度在跨區推廣部分也有很好的成果，不只是國小端、中學端、大學端、花蓮縣、外縣市上課的學生對於這種新興的學習方式都有非常好的回應。