

機器蛇研製

Design and Implementation of Snake Robot

指導老師：王勝清、黃勝銘老師

團隊成員：吳嘉恩、陳若甄

摘要

希望在這次的專題研製中，能結合機械設計、製圖能力、程式設計以及機電整合，完成具有多種運動方式的機器蛇，並透過藍芽傳輸信號進行操控，也具備了探查功能，單獨控制頭部馬達進行偵查，影像能立即回傳至使用者的手機與電腦。

關鍵字：救難機器人、機器蛇

1. 前言

根據目前機器蛇的資料，得出機器蛇既體積小又具備能鑽入地底或水底偵測生還者的功能。蛇的機構可分成三段來設計，分別為頭、身、尾三部分，本專題將依據性能目標（表1），參考成本、尺寸、功耗等多種因素，挑選出適合的部件完成所需的功能，再利用SolidWorks繪圖軟體畫出零件進行組裝。最後等機器蛇的功能都達到預期性能目標後，再進行搖桿設計。

表1 預期性能目標

功能	說明
影像回傳	利用鏡頭回傳畫面至手機或電腦
無線操控	利用無線裝置，透過搖桿進行蛇的控制
續航力	機器作動 $\geq 1h$
具備多種行進方式	能進行S型、轉彎、波動、蠕動、滾動及頭部探查等動作


2. 機器部件選用

2.1 馬達選用

為了配合機器蛇預期的目標，不僅需要輕量化、體積小，多個自由度也是考量的重要因素，才能做到探查的功能，也可以鑽入人類無法到達之處。

本專題所選用的馬達規格如表2所示，將原本的馬達再加上U型架，使機器蛇的作動範圍不侷限在一個平面上，唯一不足的地方是，馬達扭矩在7伏時只有0.17 N·m，無法抬起質量較大的物品，所以在救難方面還有待評估。

表2 馬達規格

	名稱	LX-15D可串行總線舵機
	重量	49g
	扭矩	0.17 N·m(7V)
	轉動速度	0.15sec/60degree
	轉角範圍	0° ~ 240°
	工作電壓	7 ~ 8.4V
	適用於	各類型仿生機器人關節

2.2 無線通訊裝置選用

主要是拿市面上最為普遍的Wi-Fi與藍芽做比較（表3）。雖然藍芽的傳輸速度較Wi-Fi差，但機器蛇在預期目標上需要體積小、輕量化，消耗功率也不能太大，所以我們選擇藍芽作為本次專題的無線裝置，透過搖桿傳送訊息使機器作動。

表3 無線裝置比較

	藍芽 (HC-05)	Wi-Fi (ESP8622)
價格	90 元新台幣	135 元新台幣
面積	3.57cm × 1.52cm	2.54cm × 4.83cm
成本	較低	較高
功耗	較小	較大
有效傳輸距離	100 公尺	400 公尺
傳輸速度	較慢	較快

2.3 鏡頭選用

主要選了兩款可結合Arduino的鏡頭互相比較（表4），雖然微型FPV鏡頭較JPEG camera耗電且不支援iOS系統，但我們希望機器蛇進行探查時，能及時回傳影像到手機或電腦，若有機會到救難現場進行救災時，能馬上顯示畫面給救難隊員進行搜救，因此決定以微型FPV作為本專題的鏡頭。


表4 鏡頭比較

	Arduino JPEG camera	微型 FPV 鏡頭
電壓	3.3 ~ 5 V	2.9 ~ 5 V
電流	80 ~ 100mA(5V) (夜視模式 200mA)	250±20mA(5V)
重量	10g	5 ~ 6g
視角	60° ~ 120°	120°
畫素	40 萬	200 萬
優點	省電、具夜視功能	畫素高、質量輕、 即時影像回傳
缺點	只能傳照片、 無法無線傳輸	耗電

2.4 電池選用

根據機器蛇所需的功能，大致上可以把需供電的地方分成三部分，分別為機頭（包括鏡頭、風扇、LED 等）、用藍芽控制機器的搖桿與機身（馬達）。由於本專題的預期功能需要做到「滾動」，然而滾動須由全部的馬達共同完成，所以消耗電流為動作組中的最大，做出完整的滾動動作大約為 2.5A，再加上馬達的工作電壓必須在 7~8.4V，以及我們的續航力需 ≥ 1h，進而挑選出能供電給整條馬達的電池，如表 5 所示。

表5 機體電池選用說明

	說明
	1. 電池規格為 18650 鋰鐵電池，其電壓為 3.7V，電流為 2.2Ah
	2. 將兩顆 18650 進行串聯形成一組如左圖，則 電壓為 $3.7V \times 2 = 7.4V$
	3. 再將兩組 18650 進行並聯，則 電流為 $2.2Ah \times 2 = 4.4Ah$
	4. 經由 2、3 點說明，得到結論： 電池電壓 7.4V > 馬達工作電壓 電池電流 4.4Ah > 動作組所需

機體頭部與搖桿電池的部分，由於需供電的部件，如鏡頭、風扇、Nano 板等，工作電壓皆為 5V，運作時最大消耗電流為 0.4A，再配合機器蛇的續航力需 ≥ 1h，所以本專題選用 9V 充電電池（圖 1）。



電池電壓 9V > 部件工作電壓
電池容量 1Ah > 系統最低容量

圖1 機體頭部與搖桿電池

3. 機器蛇結構設計

3.1 主體結構設計

透過生物蛇的影片，可以知道他們的運動方式大部分以 S 型、側行波動、側行滾動為主。

透過蛇的脊椎（圖 2），可以發現生物蛇背上的翅狀凸出物限制了他們無法自由自在的運動，而骨頭與骨頭之間是利用球窩的結構進行連接，使蛇能夠進行不同軸向的旋轉運動。這種運動方式與萬向接頭（圖 3）的原理相似，若能將兩顆馬達以正交的方式連接成一組並加長（圖 4），即可進行多軸向的運動，雖然不像球窩一樣靈活，但就機構與控制方面，這是最為方便且最貼近生物蛇的方式。

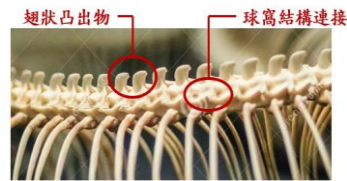


圖2 蛇脊椎

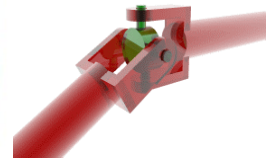


圖3 萬向接頭示意圖

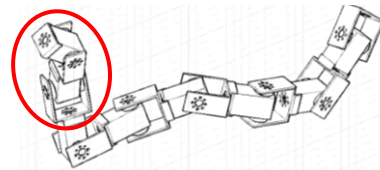


圖4 機器主體結構圖

3.2 機體頭部結構設計

圖 5 為頭部設計完成圖，由繪圖軟體 SolidWorks 設計完成。為了能夠回傳畫面至手機或電腦，本專題在頭的內部設置了一個空間，使能放置鏡頭回傳前方畫面，為了避免探照時間過長而導致散熱不易，所以在鏡頭後方加裝了小型風扇。頭部近開口兩側設置 LED 燈，在夜間能照亮前方視野。左側設置一個空間，可放置 Nano 板，傳送已編寫好的程式給頭部的部件，達到所需功能。

頭部放置鏡頭、風扇、電池及電路板的空間，均設計滑蓋機關，使機器在運作時，能保護內部部件，主要是避免過程中受外在因素而破壞，也可達到美觀的效果，如圖 6 所示。

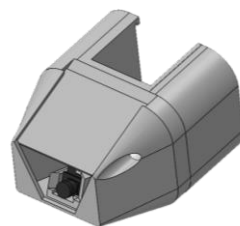


圖5 頭部設計完成圖

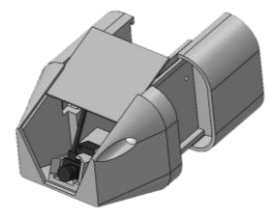


圖6 頭部滑蓋展示圖

3.3 機體結構設計

機身為整個機構中的主要結構，以SolidWorks繪圖軟體設計如圖7所示，馬達互相串連，以正交方式排列，不僅可執行的動作組種類繁多，機器運作的範圍也較不受拘束。

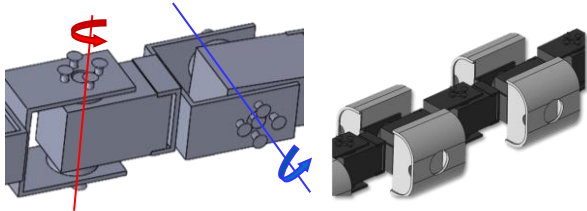


圖7 馬達正交排列

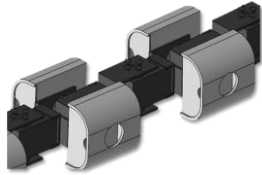


圖8 蛇身上側盒

機身外型的部分，本專題在其身上設計了側盒，並加裝在偶數號馬達上，如圖8所示，其尺寸為60mm × 60mm × 27.5mm。盒子上的圓弧曲面可以使機器在作動時更流暢，且盒子皆統一尺寸讓整體高度一致。圖9為機身主要盒子設計圖，圖10為打開滑蓋後的側盒。

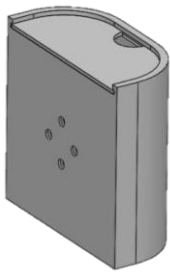


圖9 機身主要側盒

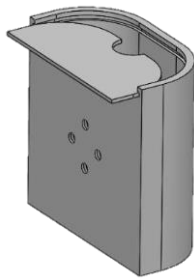


圖10 打開滑蓋後側盒圖

除了圖9外，還另外設計了兩款側邊盒子，其中一款（圖11）設置在頭部後一截，與圖9最大的差別在於兩者的滑蓋方式不同，此盒設計成L型滑蓋方式（如圖12），以利檢查電池使用情形。圖11內部放置了提供給頭部Nano板的電池，利用盒蓋上的半圓形開口，引線進入頭部供電。圓弧面上的開口主要是方便電池進行開關。

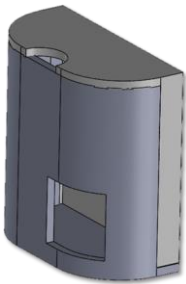


圖11 頭部後一節側盒

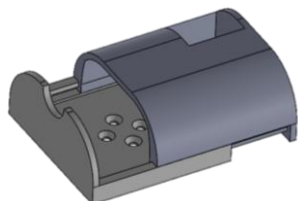


圖12 L型滑蓋

另外一款（圖13）設置在機體尾部前一節，與圖9最大的差別在於兩者的尺寸不同，如圖14所示，尺寸為60mm × 88mm × 27.5mm。其主要的功能在於放置電池，供電給整條馬達。

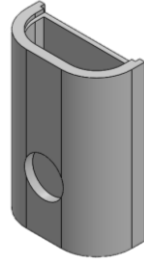


圖13 尾部前一節側盒

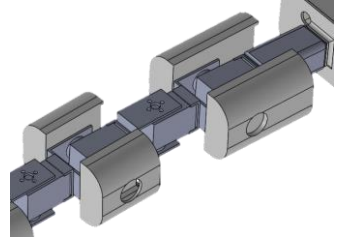


圖14 與主要側盒比較圖

3.4 機體尾部結構設計

尾部的SolidWorks繪圖設計如圖15所示。為了能使機器蛇做出動作，本專題將Arduino的Nano板、無線裝置與馬達控制板互相連接，並在尾部設計一個空間將其放入。尾部滑蓋方式（圖16）與內部空間的功能與頭部相同，都是以保護內部零件為主，美觀為其次，也方便檢視控制板的使用情形。

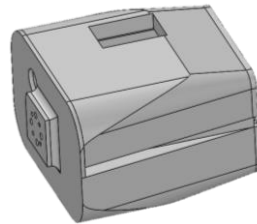


圖15 尾部設計圖

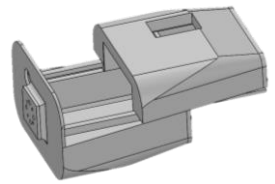


圖16 尾部滑蓋方式

將機體頭部、機身、尾部設計完成後，組裝雛型如圖17所示，加裝電池後，配置圖如圖18。

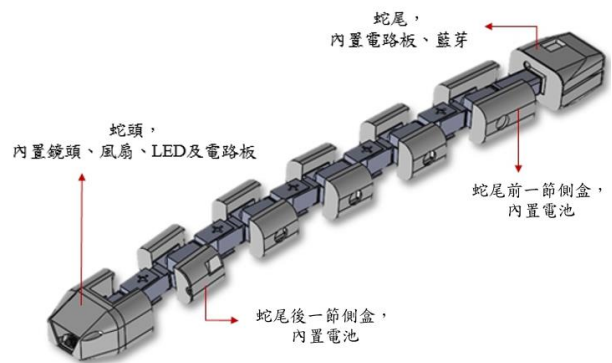


圖17 機器蛇設計雛型

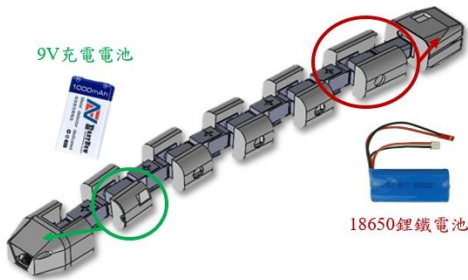


圖18 電池配置圖

4. 程式設計

4.1 馬達設定與控制方式

剛開始串接馬達時，要先利用馬達專用的舵機調適系統（圖19）對每顆進行ID設置，才能利用Arduino編寫程式，傳送訊息給馬達作動。



圖19 舵機專用調適系統

動作組編寫的部分，將其中一個動作組分段，把串接好的機器蛇透過每顆馬達角度的不同，進行位置回傳，記錄每顆馬達位置的系統如圖20所示。若動作組每段皆紀錄完畢，系統會顯示每段紀錄位置的資料（圖21），也能透過此系統執行一段接著一段而形成動作組，即可立即觀察回傳後不停循環的動作是否能達到預期的效果。

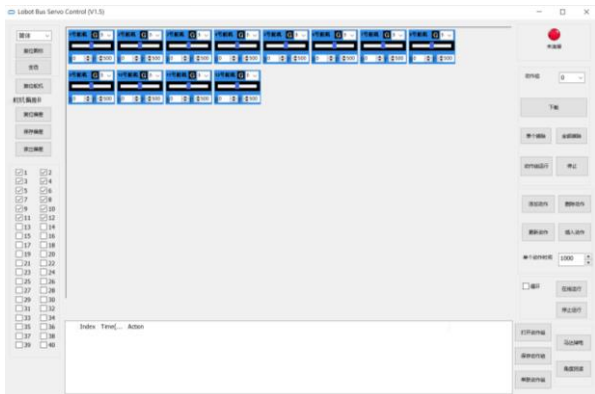


圖20 紀錄馬達轉動位置的系統

Index	Time(...)	Action
1	1000	#2 P500 #3 P350 #4 P550 #5 P350 #6 P550 #7 P650 #8 P450 #9 P650 #10 P450 #11 P350 #12 P500
2	1000	#2 P500 #3 P350 #4 P450 #5 P650 #6 P550 #7 P650 #8 P550 #9 P350 #10 P450 #11 P350 #12 P450
3	1000	#2 P500 #3 P650 #4 P450 #5 P650 #6 P450 #7 P350 #8 P550 #9 P350 #10 P550 #11 P650 #12 P450
4	1000	#2 P500 #3 P650 #4 P500 #5 P350 #6 P550 #7 P350 #8 P550 #9 P650 #10 P450 #11 P650 #12 P450

圖21 以S型為例，將S型前進動作分成4段紀錄

每組動作組皆以上述所說明的方式，把每段馬達的位置透過Arduino編寫，再透過藍芽傳送與接收程式，完成動作組的控制。藍芽在啟動電源後，會不斷判斷是否接收到訊號，若有的話，就會判斷是否接收到搖桿的訊號，有接收到就進行蛇的控制，流程方塊圖如圖22。

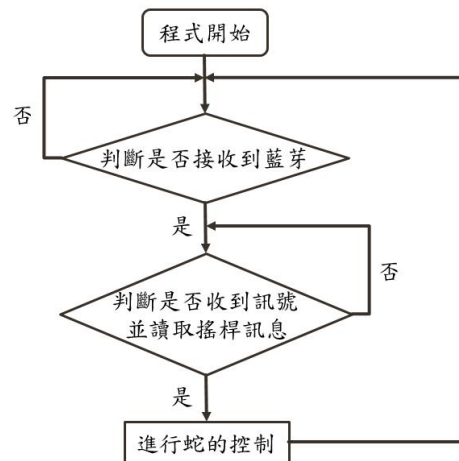


圖22 程式流程圖

4.2 動作組設計邏輯

S型动作的部分（圖23），將機器蛇設定在x y平面上，並以y為基準軸，一開始先在x y平面上輸入一個正弦波，發現機器蛇並不會因為只加了x y平面的波而向前移動，反而只會在原地作動，因此再添加了y z平面的波，透過此波波谷使機身零件與地面的摩擦力增加，值得注意的是，加入x y及y z平面的波後，機器蛇的重心輪流分布在左右兩側，就如同人們走路一樣，透過左右腳重心交替帶動向前。

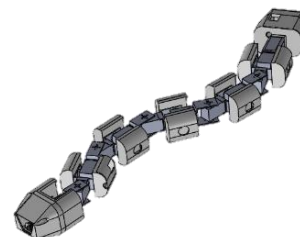


圖23 機器蛇S型模擬圖

側行波動的部分（圖24），本專題參考了生物蛇的動作影片，發現生物蛇在側行的過程中，x y平面波峰-波谷段剛好與y z波的波谷互相結合形成與地面的摩擦力，造成側行的現象。



圖24 生物蛇側行原理分解動作圖

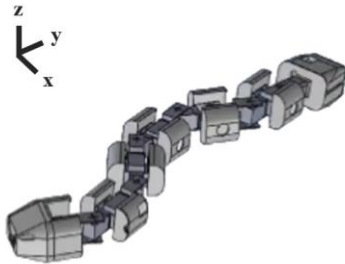


圖25 機器蛇側行波動模擬圖

蠕動部分(圖26)，為了使機器能作出更多的動作，於是參考了毛蟲的行進方式。他們透過身體每一節與地面的摩擦力，慢慢帶動身體作動。



圖26 機器蛇蠕動模擬圖

側行滾動的部分，透過蛇脊椎而聯想到的萬向接頭，擁有多種軸向的運動方式，利用繪圖軟體 SolidWorks 畫出一截與蛇身相似的設計圖(圖27)，若增長此設計就能與機器蛇有著相同的結構，以同個方向作動再加上與地面摩擦力結合，即可帶動機器蛇進行側行滾動。

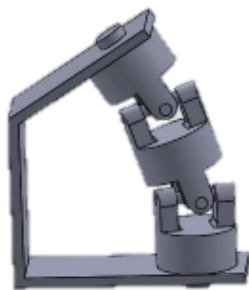


圖27 萬向接頭設計圖

5. 搖桿結構設計

5.1 搖桿具備功能

搖桿零件示意圖如圖28所示，可看到搖桿上方LED提示燈用意是在告訴使用者現在的模式為何；下方舵機復位鈕是將整條機器蛇復位成一直條形狀，減少馬達負擔；左下方為9V充電電池放置處；Nano板下方為電源開關，右方為藍芽板。

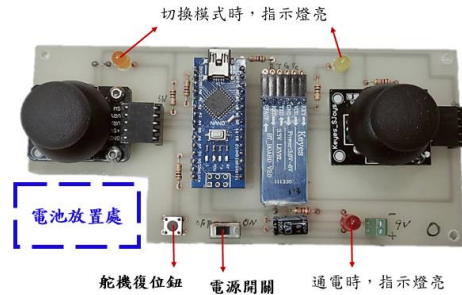


圖28 搖桿電路示意圖

在控制上，將動作分別寫入左右搖桿，各個搖桿又可分為預設模式與切換後模式。

在預設模式中(圖29)，左搖桿上下為S型前進與後退，左右為側行滾動；右搖桿上下為蠕動的前置與回復動作，左右為轉彎。

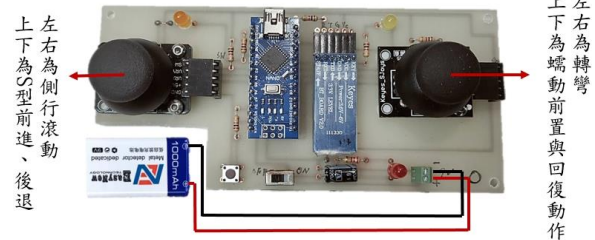


圖29 預設模式時搖桿功能

當左搖桿切換模式時(圖30)，左上方的LED提示燈亮起，其上下改為蠕動前進與後退，左右為側行波動；當右搖桿切換模式時(圖31)，情況較特殊，此時右上方的LED提示燈亮起，左提示燈將保留先前的模式不變，但左搖桿上下動作改成蛇頭的上下擺動，右搖桿上下則是頭部的擺動(類似人類的點頭)，左右是頭部後一節的擺動(類似人類的搖頭)。

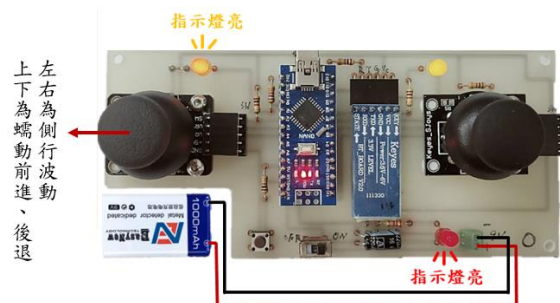


圖30 左搖桿切換模式後的功能

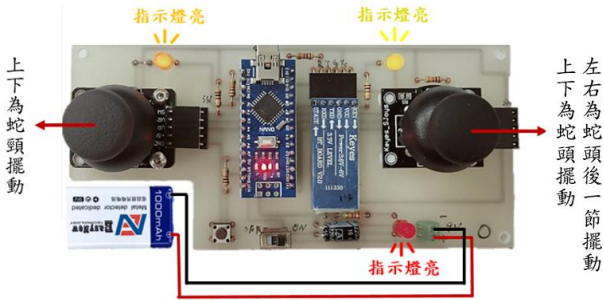


圖31 右搖桿切換模式後的功能

指示燈	左搖桿		右搖桿	
	上下	左右	上下	左右
○ ○	S型前進與後退	側行滾動	蠕動前置與回復	轉彎
○ ○	蠕動前進與後退	側行波動	蠕動前置與回復	轉彎
⊗ ○	蛇頭擺動	-	蛇頭擺動	蛇頭後一節擺動

圖32 搖桿功能總表

5.2 搖桿外殼設計

搖桿外殼與機器蛇零件一樣，也是用 SolidWorks 繪圖軟體設計出，再藉由 3D 列印機印出來，如圖 33，尺寸為 192.7mm × 166.7mm × 81mm。

在外殼上方，本專題設計出可放置手機的架子，方便鏡頭回傳畫面時，能一面操作機器蛇，一面觀察回傳的影像。

在外殼左下角，設置了一個滑槽開口，可將 9V 充電電池置入，若沒電時也方便進行替換。

在手機架內部，本專題在裡面加裝了拉伸彈簧，其功能與市面上的手機架相同，皆能夾緊手機不易滑落。

在搖桿的側面，設計了一個開口（圖 34），放置手機訊號接收器，將接收器與手機互相連接，方可成功觀察到影像，但鏡頭與接收器不支援 iOS 系統，只有 Android 系統的手機才能使用。

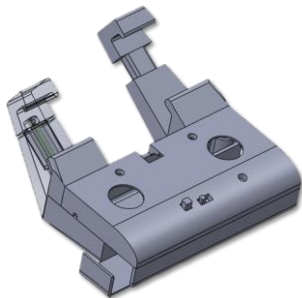


圖33 搖桿外殼設計圖

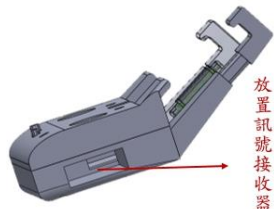


圖34 訊號接收器放置處

6. 機體總成

6.1 機器蛇組裝

機器蛇設計完畢後，利用 SolidWorks 繪圖軟體畫出的所有零件皆透過 3D 列印印出，去除毛邊及輔材後，接著用 M3×10 的螺絲及螺帽固定，固定完即可安

裝部件至想要的部位，如圖 35 所示。

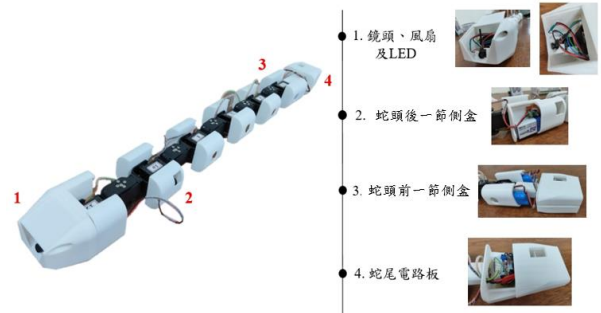


圖35 機體總成

6.2 搖桿組裝

透過 3D 列印，將搖桿所需零件印出並去除毛邊及輔材後，先利用拉伸彈簧放置在手機架內，鎖上螺絲後再用熱溶膠進行雙重固定，避免使用者施力過大而造成毀壞。

手機架與搖桿本體的連接方式是透過卡榫，將搖桿設計成上下兩部分，將下蓋凹進部分與架子凸出部分結合後，再利用 M3×20 的螺絲進行整體安裝，圖 36 為搖桿實體完成圖。



圖36 搖桿實體圖

7. 結論

經過實際測試後，搖桿能成功透過藍芽進行無線操控；蠕動、側行滾動及波動、滾動等動作組可正常作動，也可以成功控制頭部進行探查；鏡頭也能成功回傳至手機及電腦查看。

但目前系統還有地方需要加強與改善：

- (1) 因馬達扭力的不足、地形複雜程度以及本專題是以多種運動方式的機器蛇為主要研究方向，所以目前無法進行救災。
- (2) S型動作無法筆直前進，可能是因為程式在編寫的過程中，沒有將重心平均分配在機器蛇的左右兩側，導致機器無法筆直向前。

8. 誌謝

感謝創能電動車，教導我們選用電池的相關資訊。感謝實驗室的學長及老師，指導3D列印機、SolidWorks與Arduino等硬體與軟體如何使用，也感謝實驗室資源豐富，讓我們有好的環境製作此專題。

9. 參考文獻

1. 詹·湯米·格拉伍德，蛇形機器人建模、機電設計及控制，國防工業出版社，北京，中國，2015
2. 蛇的運輸方式-蛇傳
<http://snaketales.ch/die-fortbewegungsarten-von-schlangen/>
4. 【Arduino】搖桿模組實習
<http://drho.club/2018/05/arduino-joy-stick/>
5. [雙A計畫]藍芽模組(HC-05、HC-06)常見的指令使用教學
<https://blog.cavedu.com/2017/10/18/hc05-hc06/>
6. 山姆大叔—上鏡率最高的機器蛇
<https://www.inside.com.tw/article/9868-snack-monster>
7. 蛇行機器人-維基百科
<https://en.wikipedia.org/wiki/Snakebot>
8. 透過遙控操作具有從動輪的機器蛇
<https://www.instructables.com/id/Snake-Robot-1/>
9. 蛇行機器人的建模、實現與控制
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889011001618>
10. 爬上管壁的機器蛇
<https://www.sintef.no/en/latest-news/the-robot-that-climbs-pipe-walls/>