

投稿類別：工程技術類

篇名：

「傻寶」機器人的靜態平衡

作者：

吳嘉雯。中壢高商。國貿二年三班

陳稚凱。中壢高商。綜高二年二班

卓毓謙。中壢高商。國貿二年五班

指導老師：

盧健瑋老師

## 壹、前言

### 一、研究動機

升高二的暑假，我們參加了中央大學機器人研究社的夏令營，認識了這篇小論文的主角。不同於小時候用過的玩具，他是一個什麼事都不會做的「人形機器人」，所有的肢體動作，都要我們將設計好的程式，燒錄到他背部的 IC 電路板，才能測試動作，因此他被大家命名為「傻寶」（英文名：ASABot）。

六天的營隊，我們從學習 C 語言程式設計到控制機器人肢體動作，感覺時間非常短促，卻是很新鮮的體驗。最後一天的成果發表會，每組都要把六天所學一切「教」給傻寶，上台表演肢體運動。然而我們發現，不論各小組設計的動作多麼誇張、花俏，卻都是「沒有位移的靜態動作」，即使如此，程式對肢體角度控制不好，還會讓傻寶失去平衡而摔斷手腳，進加護病房維修！這讓我們想起社長曾經說，他花了一個月的時間，才設計出讓傻寶可以「走路」的程式，機器人的動態平衡控制是相對困難的。

因此營隊結束後，我們想先從傻寶的靜態肢體控制開始探索，瞭解靜態平衡的原理，先教會傻寶舉手投足都不摔跤，未來才有希望可以向前邁步，走到下一個位置，學會做更多事。

### 二、研究目的

- (一) 瞭解真人的靜態平衡
- (二) 如何用程式控制「傻寶」(ASABot)的肢體動作？
- (三) 真人靜態平衡原理用於「傻寶」(ASABot)的實驗
- (四) 「傻寶」(ASABot)與真人的靜態平衡比較

### 三、研究方法

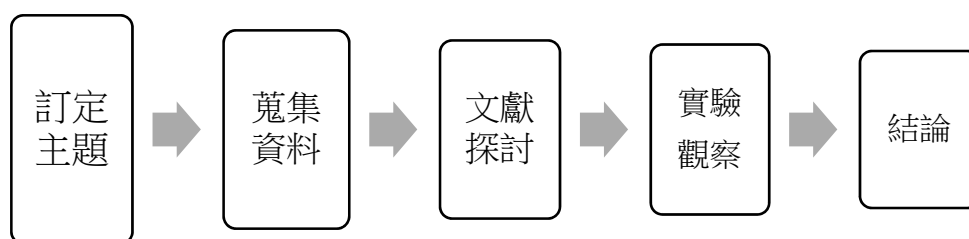
#### (一) 文獻探討法：

蒐集人類或機器人，關於運動平衡原理、體操平衡木、肢體結構與平衡控制等各類型參考資源，包含書籍、期刊、碩博士論文、華藝數位圖書館資料庫，或是下關鍵字找尋網站資料，先閱讀內容，再歸納重點與指導老師討論研究的方向。

## (二) 實驗觀察法：

為了瞭解真人靜態平衡原理，用於傻寶機器人的平衡是否有效？我們設計了三個傻寶的肢體動作實驗：「體前彎」、「單腳站立」和「半蹲」。寫程式去控制不同角度的肢體運動，紀錄角度和傻寶的平衡狀況，並且於照片上註記肢體維持平衡的「支撐點」、從「支撐點往上的垂線」、「傻寶身體的重心（參考真人）」，再與真人的靜態平衡原理，作比對或印證。

## 四、研究架構



圖一：研究架構  
(資料來源：本研究繪製)

## 貳、正文

### 一、瞭解真人的靜態平衡

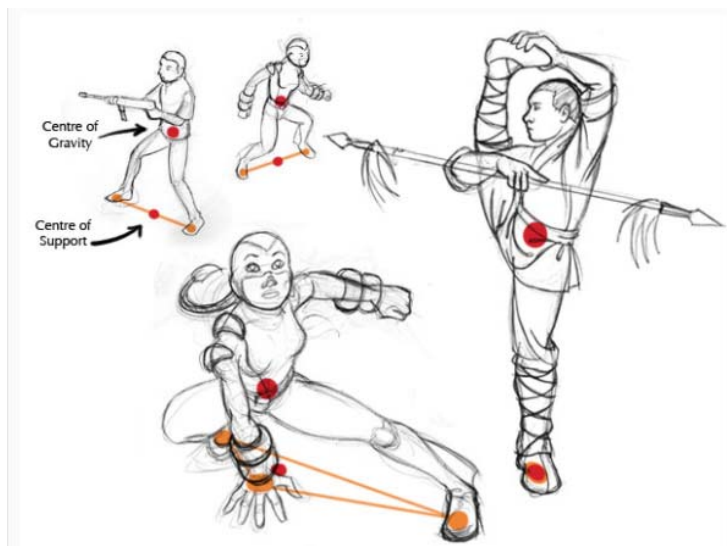
「平衡」是人類重要的基本動作能力之一，可區分為「靜態平衡」和「動態平衡」。動態平衡是指身體位移過程中，控制或維持身體姿勢的能力，例如：溜冰、游泳…都需要這種能力。靜態平衡則是在身體靜止不動的情況下，保持身體姿勢一段時間的能力，例如：單腳站立、倒立…等（林正常、范姜逸敏，2000）。由於身體在空間中位移時，重心不斷地改變，因此要維持動態平衡比較困難。

本小組想從探討真人的肢體靜態平衡，推理機器人傻寶的靜態平衡，進而能以程式穩定操控他的動作。許樹淵（1976）指出「**身體、物體的任何一部分都受到重力的作用。若支持物體或身體的重心，則能保持平衡。**」人體的靜態平衡是從肢體動作所形成的支撐中心，向上畫一條垂直線，如果這條垂直線通過身體的重心，那麼這個姿勢就可維持平衡（Joumana Medlej, 2014）。那什麼是重心和支撐中心呢？身體的重心（CoG），大概在肚臍的後方，而支撐中心（CoS），「**是指與地面接觸點之間所圍成區域的中心點**」（Joumana Medlej, 2014）。

「**物體受地心引力之影響，故重心之垂直線，一定向地平面垂直。**」（許樹淵，1976

## 「傻寶」機器人的靜態平衡

)「圖二」橙色圓點代表「支撐中心」，是人體所有與地面接觸點所圍成區域的中心點。支撐中心往上延伸的線，通過紅色圓點所代表的「重心」，姿勢就能維持平衡 (Joumana Medlej, 2014)。從「圖三」的金剛佛像，也可以明顯看出，他將站立腿的膝關節彎曲，加上外推髖關節，使肚臍與地面接觸的腳跟成一直線，以維持靜態平衡。



圖二：各種動作的靜態平衡

(資料來源：Joumana Medlej (2014)。人體解剖學基礎：平衡與運動。2020年09月24日，取自 <https://reurl.cc/gmeK1X>)



圖三：金剛佛像的單腳站立

(資料來源：每日頭條 (2016)。佛造像的12種姿態有哪些，你知道嗎？。2020年10月9日，取自 <https://reurl.cc/r83YEO>)

## 二、如何用程式控制「傻寶」(ASABot) 肢體動作？

### (一) 「傻寶」的硬體架構

傻寶由「中央大學光機電研究所」設計開發，它的外型以塑料3D列印製成，不像是現在國中小用的套裝機器人產品，具有追趕跑跳碰等已設計好的各種動作。傻寶機器人需要我們使用C語言程式去控制它，幫它設計基本動作，還好，和伺服機轉速控制等比較困難的程式部分，已由營隊大學長們寫好副程式，我們只要呼叫使用即可。

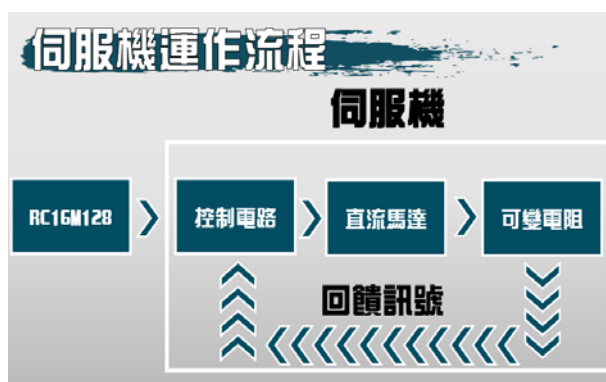
傻寶的硬體主要由16個伺服機和其他一些基本構件(例如：感測器、機器人控制板、電池…)所組成(圖四)。伺服機裡面的構造有舵盤、直流馬達、齒輪組和控制電路(圖五)，而當中的齒輪組是由多種不同大小的齒輪組合在

「傻寶」機器人的靜態平衡

一起（中央大學機器人研究社，2020）。另外，傻寶的運作要由人類透過電腦下指令給 RC16M128 微控制器，再由它傳送訊息到伺服機，才會做動作。



圖四：傻寶機器人基本構造  
（資料來源：國立中央大學機器人研究社（2020）。機器人教學-原理。2020年10月1日，取自 <https://reurl.cc/r89ooy>）

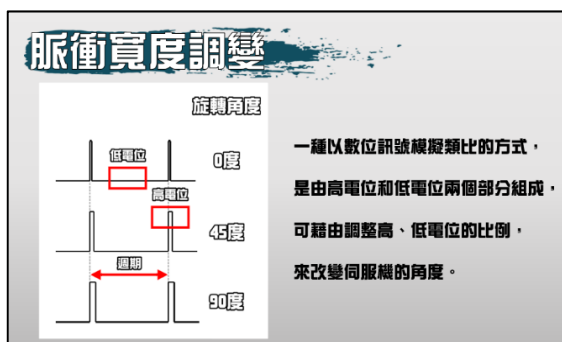


圖五：傻寶身體的伺服機運作  
（資料來源：國立中央大學機器人研究社（2020）。機器人教學-原理。2020年10月1日，取自 <https://reurl.cc/r89ooy>）

## （二）「傻寶」的動作控制

「圖六、圖七」說明數位訊號控制伺服機角度並且使動作平滑的原理，這部分程式模組由營隊提供。我們在設計軟體 Atmel Studio 7.0 建立一個新的專案，引入函式庫，就可以開始寫程式。下方以控制傻寶「半蹲」程式片段為例，說明傻寶機器人動作控制的主程式和副程式（圖八）（圖九）：

- 1、呼叫 C4M\_DEVICE\_set（）等函式庫，致能所有伺服機。
- 2、呼叫 add（dev,Initial）補差值函式，校正每台機器人初始動作，讓站立和雙手平舉時的姿勢不偏不倚。反覆呼叫 void slowMotion（initial, d, 10）命令機器人執行半蹲動作；透過改變 d 陣列中 16 個伺服機驅動的角度，完成機器人做不同動作，例如：半蹲、單腳站立、體前彎、轉上半身、趴下等等。



圖六：數位訊號改變角度的原理

(資料來源：國立中央大學機器人研究社 (2020)。機器人教學-原理。

2020年10月1日，取自

<https://reurl.cc/r89ooy>)

圖七：線性內插法使動作平滑

(資料來源：國立中央大學機器人研究社 (2020)。機器人教學-原理。

2020年10月1日，取自

<https://reurl.cc/r89ooy>)

```
#define F_CPU 11059200UL
#include "c4mlib.h"
#include "RC16M128_Lib.h"

char Initial[16]={45, 45, 45, 45, 45, 45, 45, 45, 45, 45, 45, 45, 45, 45, 45, 45, //16軸初始位置陣列
45, 45, 45, 45, 45, 45, 30};

// 1 2 3 4 5 6 7 8
// 左手腕 左手 左肩 左腿 左大腿 左小腿 左腳踝 腰
// 9 10 11 12 13 14 15 16
// 頭 右腳踝 右小腿 右大腿 右腿 右肩 右手 右手腕

char d[16]={45, 81, 45, 45, 55, 17, 59, 45, //由此程式決定何種動作
45, 31, 65, 35, 45, 45, 9, 30};

char dev[16]={0,0,0,-3, 0,0,0,0, 0,0,0,0, 0,0,0,0}; //機構補償值
void slowMotion(char *start , char *final ,int speed);
void add(char *dx,char *tol);

int main(void)
{
    C4M_DEVICE_set();
    ASA_RC16M128_set();
    RC16M128_Servo_Enable_All();//所有伺服機致能
    add(dev,Initial);//校正初始動作，機器人手平舉立正站好

    while (1)
    {
        delay_ms(3000);
        slowMotion(Initial,d,10);//傳d陣列的角度參數，作蹲下的動作
    }
}
```

圖八：半蹲動作的主程式

(資料來源：本實驗程式截圖)

```
void add(char *dx,char *tol) //加入補償值，由中央大學機器人研究社提供
{
    char puput[16];

    for (int n=0;n<16;n++)
    {
        puput[n]=dx[n]+tol[n];
    }
    RC16M128_Servo_put(0,16,puput);
}

void slowMotion(char *start , char *final , int speed) //動作內差法，由中央大學機器人研究社提供
{
    char Output[16];
    for (int i = 0; i <= 100; i++) {
        for (int j = 0; j < 16; j++) {
            Output[j] = start[j]+(final[j]-start[j])*i/100+dev[j];
            //每一軸分成插值 100 份
        }
        RC16M128_Servo_put(0, 16, Output); //輸出計算後結果
        switch(speed){
            case 1:
                _delay_ms(1); //輸出動作之間等待 0.001 秒
                break;
            case 10:
                _delay_ms(10); //輸出動作之間等待 0.001 秒
                break;
            default:
                _delay_ms(100);
        }
    }
}
```

圖九：半蹲動作的副程式

(資料來源：本實驗程式截圖)

### 三、真人的靜態平衡原理用於「傻寶」(ASABot)的實驗

本團隊在探討了人類肢體靜態平衡原理之後，規劃了三個傻寶機器人的肢體動作實驗，與真人的靜態平衡作比對或印證。

#### (一) 單腳站立

從「圖十」可看出真人單腳站立不會跌倒，因為人類調整姿勢讓「身體重心」落在「支撐中心向上延伸的垂線上」。但是，傻寶的單腳站立就會失去平衡（圖十一），因為傻寶沒有人類的腕關節，無法外推身體把重量移到支撐腿，所以「重心」就沒有落在「支撐中心向上延伸的垂線上」，造成身體失去平衡，我們必須用手去扶著，否則單腳站立就會跌倒。



圖十：真人單腳站立

（資料來源：運動星球（2018）。樹式——增加身體平衡與強化下肢力量。2020年10月9日，取自 <https://reurl.cc/Y6434D>）



圖十一：傻寶單腳站立  
（資料來源：本實驗拍照）

#### (二) 體前彎

「圖十二」傻寶立正時，可以看出重心落在支撐中心向上延伸的垂線上，和真人一樣是可以平衡的。「圖十三」傻寶上半身微彎，重心只略微偏離支撐中心向上延伸的垂線上，仍然是可以維持平衡，但是，當重心偏離支撐中心垂線太遠的時候（圖十四），身體就會失去平衡而跌倒，需要人手扶住。



## 「傻寶」機器人的靜態平衡



圖十二：立正  
(資料來源：本實驗拍照)



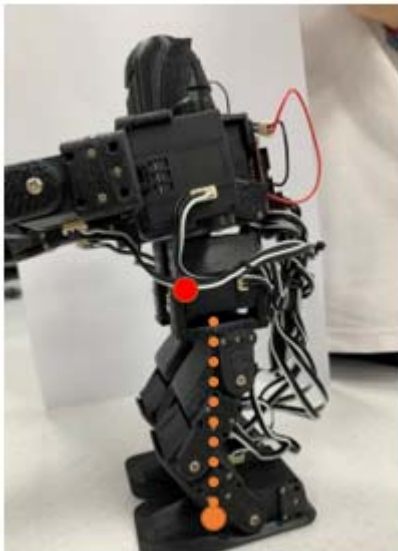
圖十三：體前彎平衡  
(資料來源：本實驗拍照)



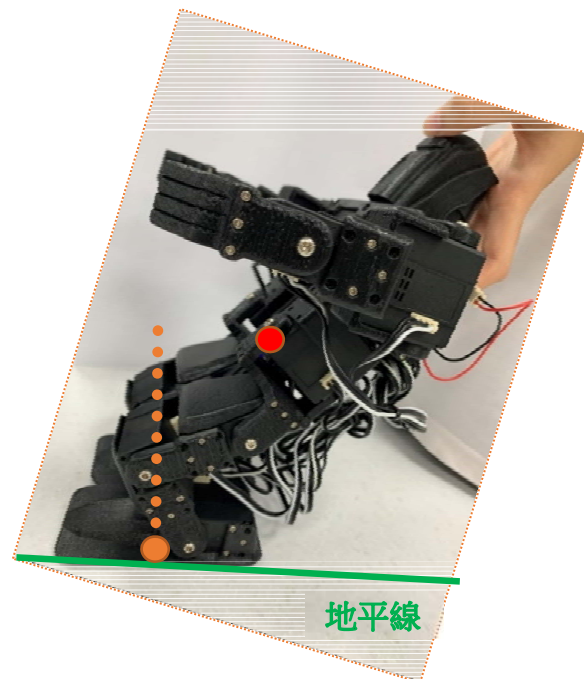
圖十四：體前彎跌倒  
(資料來源：本實驗拍照)

### (三) 半蹲

從「圖十五」傻寶機器人半蹲，看到重心雖然偏離了支撐中心向上垂線，但是因為偏離的角度小，所以沒有失去平衡，而另外「圖十六」因為傻寶半蹲的角度更低了，導致傻寶上半身後仰，重心偏離支撐中心太遠而失去平衡。



圖十五：半蹲平衡  
(資料來源：本實驗拍照)



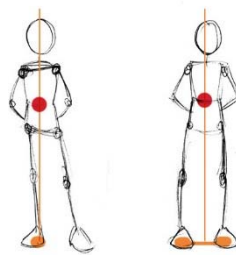
圖十六：半蹲跌倒  
(資料來源：本實驗拍照)



#### 四、「傻寶」(ASABot)與真人的靜態平衡比較

從上面的實驗，可知人形機器人傻寶和真人的靜態平衡原理是相同的，但是人類的肢體平衡可以做得更好，更優美、平滑、不容易跌倒，兩者差異的原因是什麼呢？根據文獻探討，真人與機器人之間在靜態平衡控制上的差異，至少有以下幾點：

- (一) 機器人的關節活動是靠「馬達」，但人類卻是以肌腱帶動身體數百塊肌肉收縮，完成肢體的運動和施力。就算是簡單的靜態平衡，真人也因為比機器人擁有更多可以聽從命令的「關節」，再加上一般機器人沒有的肌肉組織，當然在運動平衡的控制上，傻寶機器人是遠遠趕不上真人！
- (二) 影響真人肢體平衡的因素，還包含對平衡的運動感覺 (kinesthetic sense for stability)、視覺 (visual perception)、年齡、肌耐力等等，但是機器人則無此影響。例如：10 歲兒童的平衡感比起 2 齡小孩要好；動作時如果眼睛能看到身體位置，比看不到身體位置有較佳的平衡感；當運動過度肌肉疲勞，肌肉控制力變差，也會降低對平衡的感知能力。(Joumana Medlej, 2014)
- (三) 真人肌肉收縮產生的力量強度會影響平衡，但一般機器人因為沒有肌肉組織，無法經過肌肉施力程度或調整身體重心，達到更多姿勢的平衡。例如圖十七，雖然都是兩腳著地，但施力程度不同，右邊站姿的兩腿施力平均，左邊站姿則將身體推向一側，幾乎都用左腿力量支撐。兩者重心都可以落在支撐中心往上的垂線上，而能保持靜態平衡 (Joumana Medlej, 2014)。



圖十七：人類站姿的靜態平衡比較

(資料來源：Joumana Medlej (2014)。人體解剖學基礎：平衡與運動。2020 年 09 月 24 日，取自 <https://reurl.cc/gmek1X>)

#### 參、結論

這個研究經由對人類靜態平衡的瞭解，來探討傻寶機器人肢體靜態平衡的控制，希望可以在未來設計機器人動作時，注意身體重心的控制，降低跌摔的次數。從文獻探討和實驗觀察，我們得出以下結論：

一、人形機器人與真人的肢體靜態平衡原理相同。只要身體的「重心落在支撐中心往上延伸

的垂直線上」，或者是偏離這條垂直線不遠，就能達到靜態平衡。

- 二、真人因為身體結構更精巧複雜，所以肢體動作平衡可以比機器人做得更好。許樹淵（1976）指出「**肌肉和骨骼的力學關係，決定了它所能實施之各種運動的程度**」；人體大約 640 塊肌肉，是很複雜的生物結構，日本很強大的機器人 Kenshiro 身上就模擬真人造了 160 塊肌肉，增強肢體運動時的平衡（maxon motor ag，2013）。
- 三、目前大部分機器人肢體開發不如頭腦。Hod Lipson（2018）指出「**雖然在製造機器人大腦方面，我們取得了突飛猛進的成績，但是機器人的身體，仍然十分原始。**」 AI 科技的發展，使機器人在有規則且高度用腦的工作上，可以戰勝人類，例如：下圍棋（林厚勳，2018）。但是到目前為止，當人們模仿機器跳舞，總不忘表現出動作一頓一頓的，說明機器人仍無法像人類一樣，做靈活的動作。精進機器人的身體結構，使它的肢體活動可以更像人類，例如：開發人造肌肉等，是未來機器人研究的重要方向之一。

#### 肆、引註資料

許樹淵（1976）。**人體運動力學**。台北市：協進圖書有限公司

林正常、范姜逸敏（2000）。運動體適能 -- 平衡。2020 年 10 月 2 日，取自 <http://www.epsport.net/epsport/fitness/show.asp?repno=60>

Joumana Medlej（2014）。人體解剖學基礎：平衡與運動。2020 年 10 月 9 日，取自 <https://reurl.cc/D6KO4e>

國立中央大學機器人研究社（2020）。機器人教學-原理。2020 年 10 月 1 日，取自 <https://reurl.cc/r89ooy>

運動星球（2018）。樹式——增加身體平衡與強化下肢力量。2020 年 10 月 9 日，取自 <https://reurl.cc/Y6434D>

每日頭條（2016）。佛造像的 12 種姿態有哪些，你知道嗎？。2020 年 10 月 9 日，取自 <https://reurl.cc/r83YEO>

林厚勳（2018）。【魔鬼終結者成真】人造肌肉技術大突破，讓機器人如人類般靈巧活動！。2020 年 10 月 9 日，取自 <https://reurl.cc/EzgQbm>

Maxon motor Taiwan（2020）。Kenshiro：擁有 160 塊肌肉的強勁機器人。2020 年 10 月 01 日，取自 <https://www.maxongroup.com.tw/maxon/view/application/KENSHIRO-ROBOT-AB>