

物件導向程式設計期末報告

報告題目：機構運動模擬器

學生：許笙杰

系級班別：機械 111 乙班

學號：E14075304

E-mail：e14075304@gs.ncku.edu.tw

目錄

報告主體摘要.....	1
前言.....	2
進行步驟及方法說明.....	9
一、分析功能需求.....	9
二、程式類別功能及其之間的互動關係.....	10
三、使用工具.....	12
四、例外之處理.....	12
五、遭遇的困難及其解決辦法.....	14
六、使用者介面操作方式.....	14
結論與未來展望.....	19
參考文獻.....	20
附錄.....	21
一、程式巨觀流程圖.....	21
二、執行結果.....	22

報告主體摘要

本次專題研究旨在結合機械系所學之機動學、計算機圖學和物件導向程式設計等學科的知識，設計一個可以把機構運動資訊視覺化的視窗程式，以增強學習這些知識點的印象。程式主視窗將提供數種機構供使用者進行模擬，並讓使用者自行鍵入機構桿件尺寸、輸入機構的角速度等參數，同時提供多種單位，以進行機構的位置、速度、加速度等分析。

目前本程式已完成四連桿(Four-bar linkage)、六連桿(Six-bar linkage)和曲柄滑塊(Slider crank)三種機構的實作。本次專題研究將 OpenGL 繪圖 API、C++ 和 C++/CLI Windows Form 視窗程式進行結合運用，從最基本的向量迴路方程式(Vector loop equation)出發求出解析解，建構出機構整體運動情況和桿件上某點的平面運動軌跡。

前言

四連桿運動分析

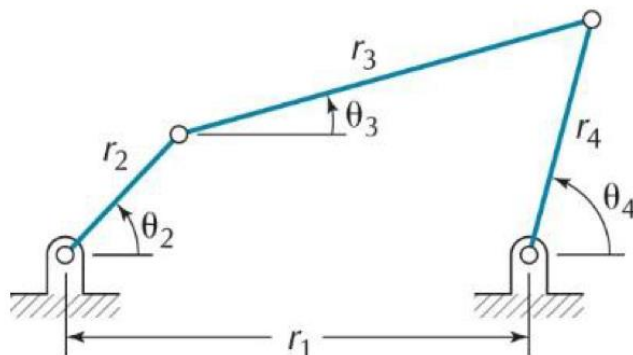


Figure 1 四連桿 Skeleton diagram

給定以上四連桿機構，寫出以下向量迴路方程式：

$$R_1 - R_2 - R_3 + R_4 = 0$$

其中 $R_i = r_i \cos \theta_i + i \sin \theta_i$ 為一向量。

將以上方程式依實部和虛部拆解為兩個分量方程式：

$$r_1 \cos \theta_1 - r_2 \cos \theta_2 - r_3 \cos \theta_3 + r_4 \cos \theta_4 = 0 \quad (1)$$

$$r_1 \sin \theta_1 - r_2 \sin \theta_2 - r_3 \sin \theta_3 + r_4 \sin \theta_4 = 0 \quad (2)$$

其中 r_1 至 r_4 為各桿件長度(常數)，並假設機構為水平放置($\theta_1 = 0^\circ$)，輸入的角度為 θ_2 ，未知數為 θ_3 和 θ_4 。

解(1)和(2)，即可得到桿件 3 和桿件 4 的角度為

$$\theta_4 = 2 \tan^{-1} \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4de}}{2d}$$

$$\theta_3 = \tan^{-1} \frac{-r_2 \sin \theta_2 + r_4 \sin \theta_4}{r_1 - r_2 \cos \theta_2 + r_4 \cos \theta_4}$$

其中各符號定義如下

$$b = -2 \sin \theta_2$$

$$d = -h_1 + (1 - h_3) \cos \theta_2 + h_5$$

$$e = h_1 - (1 + h_3) \cos \theta_2 + h_5$$

$$h_1 = \frac{r_1}{r_2}; \quad h_3 = \frac{r_1}{r_4}; \quad h_5 = \frac{r_1^2 + r_2^2 - r_3^2 + r_4^2}{2r_2r_4}$$

將 $\theta_1 = 0^\circ$ 代入(1)和(2)並對時間微分，可得(3)和(4)(符號上一點表示對時間一階微分)

$$r_3 \dot{\theta}_3 \sin \theta_3 - r_4 \dot{\theta}_4 \sin \theta_4 = -r_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \quad (3)$$

$$r_3 \dot{\theta}_3 \cos \theta_3 - r_4 \dot{\theta}_4 \cos \theta_4 = -r_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 \quad (4)$$

其中 $\dot{\theta}_2$ 為輸入角速度(正值: CCW direction、負值: CW direction)。

解(3)和(4)，即可得到桿件 3 和桿件 4 的旋轉角速度公式為

$$\dot{\theta}_3 = \frac{r_2 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_2 - \theta_4)}{r_3 \sin(\theta_4 - \theta_3)}$$

$$\dot{\theta}_4 = \frac{r_2 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_2 - \theta_3)}{r_4 \sin(\theta_4 - \theta_3)}$$

將(3)和(4)再對時間微分，可得(5)和(6) (符號上兩點表示對時間二階微分)

$$r_3 \ddot{\theta}_3 \sin \theta_3 - r_4 \ddot{\theta}_4 \sin \theta_4 = -r_2 \ddot{\theta}_2 \sin \theta_2 - r_2 \dot{\theta}_2^2 \cos \theta_2 - r_3 \dot{\theta}_3^2 \cos \theta_3 + r_4 \dot{\theta}_4^2 \cos \theta_4 \quad (5)$$

$$r_3 \ddot{\theta}_3 \cos \theta_3 - r_4 \ddot{\theta}_4 \cos \theta_4 = -r_2 \ddot{\theta}_2 \cos \theta_2 + r_2 \dot{\theta}_2^2 \sin \theta_2 + r_3 \dot{\theta}_3^2 \sin \theta_3 - r_4 \dot{\theta}_4^2 \sin \theta_4 \quad (6)$$

其中 $\ddot{\theta}_2 = 0$ 為輸入角加速度(假設輸入桿等速旋轉)。

解(5)和(6)，即可得到桿件 3 和桿件 4 的旋轉角加速度公式為

$$\ddot{\theta}_3 = \frac{-r_2 \dot{\theta}_2^2 \cos(\theta_2 - \theta_4) - r_2 \ddot{\theta}_2 \sin(\theta_2 - \theta_4) - r_3 \dot{\theta}_3^2 \cos(\theta_3 - \theta_4) + r_4 \dot{\theta}_4^2 \cos(\theta_4 - \theta_3)}{r_3 \sin(\theta_3 - \theta_4)}$$

$$\ddot{\theta}_4 = \frac{-r_2 \dot{\theta}_2^2 \cos(\theta_2 - \theta_3) - r_2 \ddot{\theta}_2 \sin(\theta_2 - \theta_3) - r_3 \dot{\theta}_3^2 \cos(\theta_3 - \theta_4) + r_4 \dot{\theta}_4^2 \cos(\theta_4 - \theta_3)}{r_4 \sin(\theta_4 - \theta_3)}$$

四連桿耦點運動分析

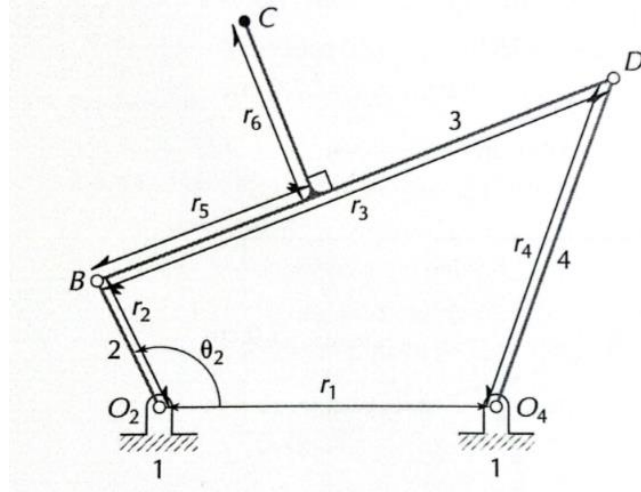


Figure 2 附耦點四連桿 Skeleton diagram

根據向量迴路方程式分析，耦點 C 的坐標為

$$x_C = r_2 \cos \theta_2 + r_5 \cos \theta_3 - r_6 \sin \theta_3 \quad (7)$$

$$y_C = r_2 \sin \theta_2 + r_5 \sin \theta_3 + r_6 \cos \theta_3 \quad (8)$$

將(7)和(8)對時間微分，得耦點線速度表示式為

$$\dot{x}_C = -r_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 - \dot{\theta}_3 (r_5 \sin \theta_3 + r_6 \cos \theta_3) \quad (9)$$

$$\dot{y}_C = r_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 + \dot{\theta}_3 (r_5 \cos \theta_3 - r_6 \sin \theta_3) \quad (10)$$

將(9)和(10)對時間微分，得耦點線加速度表示式為

$$\ddot{x}_C = -r_2 \dot{\theta}_2^2 \cos \theta_2 - r_2 \ddot{\theta}_2 \sin \theta_2 - \dot{\theta}_3^2 (r_5 \cos \theta_3 - r_6 \sin \theta_3) - \ddot{\theta}_3 (r_5 \sin \theta_3 + r_6 \cos \theta_3) \quad (11)$$

$$\ddot{y}_C = -r_2 \dot{\theta}_2^2 \sin \theta_2 + r_2 \ddot{\theta}_2 \cos \theta_2 - \dot{\theta}_3^2 (r_5 \sin \theta_3 + r_6 \cos \theta_3) + \ddot{\theta}_3 (r_5 \cos \theta_3 - r_6 \sin \theta_3) \quad (12)$$

若 $\theta_1 \neq 0^\circ$ ，則各坐標點需要進行旋轉變換，其轉換公式如下

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

六連桿運動分析

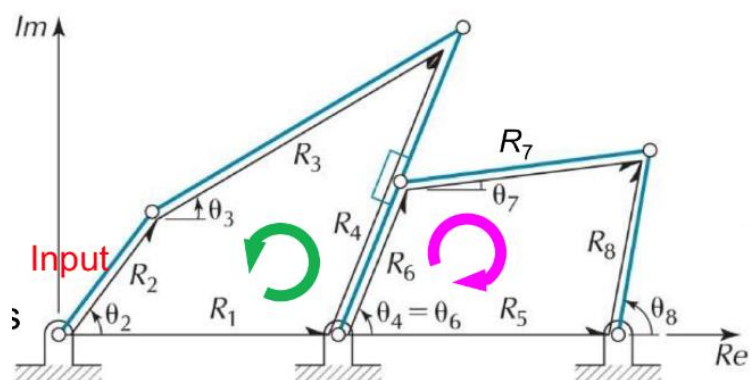


Figure 3 六連桿 Skeleton diagram

分析流程與四連桿相同，僅需將其分解為兩個四連桿機構進行運動分析，其兩條向量迴路方程式如下

$$R_1 - R_2 - R_3 + R_4 = 0$$

$$R_5 - R_6 - R_7 + R_8 = 0$$

利用這些向量方程式即可解得各桿件旋轉之角度、角速度及角加速度。

曲柄滑塊運動分析

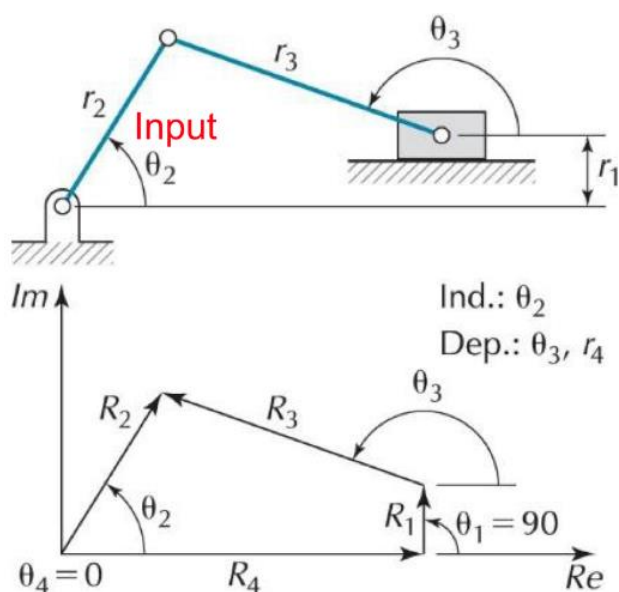


Figure 4 曲柄滑塊 Skeleton diagram 及向量迴路

給定以上曲柄滑塊機構，寫出以下向量迴路方程式：

$$R_1 - R_2 + R_3 + R_4 = 0$$

將以上方程式依實部和虛部拆解為兩個分量方程式：

$$r_1 \cos \theta_1 - r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos \theta_3 + r_4 \cos \theta_4 = 0 \quad (13)$$

$$r_1 \sin \theta_1 - r_2 \sin \theta_2 + r_3 \sin \theta_3 + r_4 \sin \theta_4 = 0 \quad (14)$$

其中 r_1 為偏置量(offset)， r_2 及 r_3 為桿件長度(常數)，輸入的角度為 θ_2 ，未知數為 θ_3 和 r_4 。

將(13)和(14)，即可得到桿件 3 旋轉角度和滑塊位置

$$\theta_3 = 180^\circ - \sin^{-1}\left(\frac{r_2 \sin \theta_2 - r_1}{r_3}\right)$$

$$r_4 = r_2 \cos \theta_2 - r_3 \cos \theta_3$$

將(13)和(14)對時間微分，

$$-r_3 \dot{\theta}_3 \sin \theta_3 + \dot{r}_4 = -r_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \quad (15)$$

$$r_3 \dot{\theta}_3 \cos \theta_3 = r_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 \quad (16)$$

解(15)和(16)，即解得桿件 3 角速度和滑塊滑行速度

$$\dot{r}_4 = \frac{r_2 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_3 - \theta_2)}{\cos \theta_3}$$

$$\dot{\theta}_3 = \frac{r_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2}{r_3 \cos \theta_3}$$

將(15)和(16)對時間微分，

$$-r_3 \ddot{\theta}_3 \sin \theta_3 + \ddot{r}_4 = -r_2 \ddot{\theta}_2 \sin \theta_2 - r_2 \dot{\theta}_2^2 \cos \theta_2 + r_3 \dot{\theta}_3^2 \cos \theta_3 \quad (17)$$

$$r_3 \ddot{\theta}_3 \cos \theta_3 = r_2 \ddot{\theta}_2 \cos \theta_2 - r_2 \dot{\theta}_2^2 \sin \theta_2 + r_3 \dot{\theta}_3^2 \sin \theta_3 \quad (18)$$

解(17)和(18)，即解得桿件 3 角加速度和滑塊滑行加速度

$$\ddot{r}_4 = \frac{-r_2 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_3 - \theta_2) + r_2 \ddot{\theta}_2 \sin(\theta_3 - \theta_2) + r_3 \dot{\theta}_3^2}{\cos \theta_3}$$

$$\ddot{\theta}_3 = \frac{-r_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 + r_2 \ddot{\theta}_2 \cos \theta_2 + r_3 \dot{\theta}_3^2 \sin \theta_3}{r_3 \cos \theta_3}$$

曲柄滑塊耦點運動分析

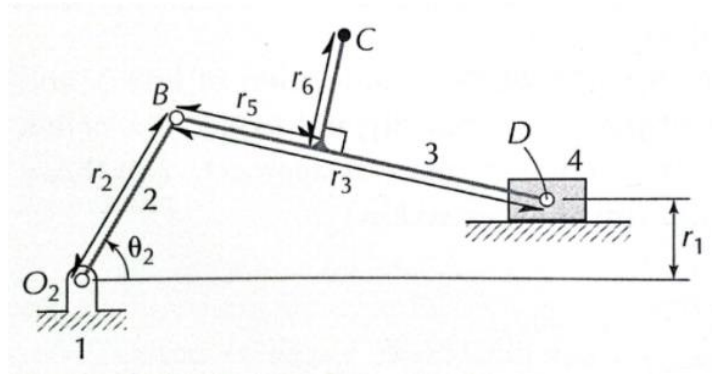


Figure 5 附耦點曲柄滑塊 Skeleton diagram

根據向量迴路方程式分析，耦點 C 的坐標為

$$x_C = r_2 \cos \theta_2 - r_5 \cos \theta_3 - r_6 \sin \theta_3 \quad (19)$$

$$y_C = r_2 \sin \theta_2 - r_5 \sin \theta_3 - r_6 \cos \theta_3 \quad (20)$$

將(19)和(20)對時間微分，得耦點線速度表示式為

$$\dot{x}_C = -r_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 + \dot{\theta}_3 (r_5 \sin \theta_3 + r_6 \cos \theta_3) \quad (21)$$

$$\dot{y}_C = r_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 - \dot{\theta}_3 (r_5 \cos \theta_3 - r_6 \sin \theta_3) \quad (22)$$

將(21)和(22)對時間微分，得耦點線加速度表示式為

$$\ddot{x}_C = -r_2 \dot{\theta}_2^2 \cos \theta_2 - r_2 \ddot{\theta}_2 \sin \theta_2 + \dot{\theta}_3^2 (r_5 \cos \theta_3 - r_6 \sin \theta_3) + \ddot{\theta}_3 (r_5 \sin \theta_3 + r_6 \cos \theta_3) \quad (23)$$

$$\ddot{y}_C = -r_2 \dot{\theta}_2^2 \sin \theta_2 + r_2 \ddot{\theta}_2 \cos \theta_2 + \dot{\theta}_3^2 (r_5 \sin \theta_3 + r_6 \cos \theta_3) - \ddot{\theta}_3 (r_5 \cos \theta_3 - r_6 \sin \theta_3) \quad (24)$$

曲柄滑塊性質分析

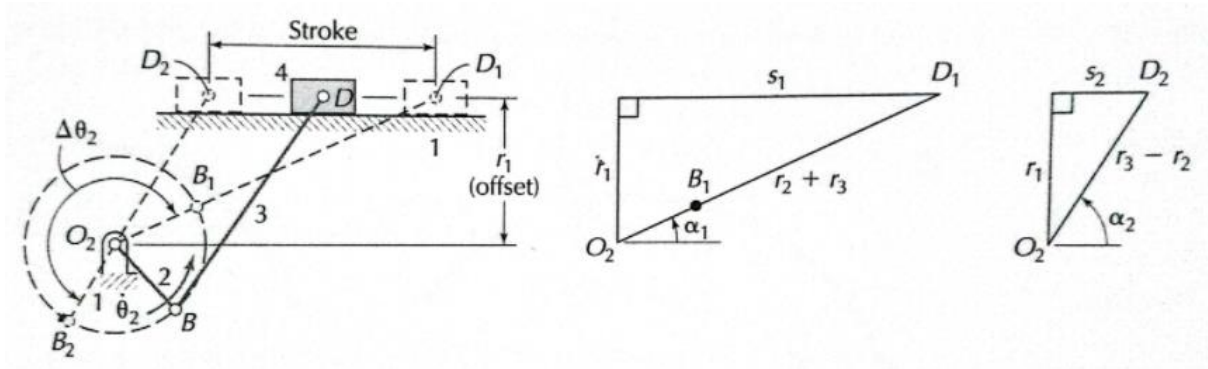


Figure 6 曲柄滑塊示意圖

Stroke 衝程：滑塊最大距離-滑塊最小距離

$$s = s_1 - s_2 = \sqrt{(r_2 + r_3)^2 - r_1^2} - \sqrt{(r_3 - r_2)^2 - r_1^2}$$

Time ratio 時間比：滑塊向左移動與向右移動的時間比值

$$\alpha_1 = \sin^{-1}\left(\frac{r_1}{r_2 + r_3}\right); \quad \alpha_2 = \sin^{-1}\left(\frac{r_1}{r_3 - r_2}\right)$$

$$\Delta\theta_2 = \pi + \alpha_2 - \alpha_1$$

$$T_R = \frac{\Delta t_L}{\Delta t_R} = \frac{\Delta\theta_2}{2\pi - \Delta\theta_2} \geq 1$$

進行步驟及方法說明

一、分析功能需求

四連桿、六連桿和曲柄滑塊都屬於機構類別，故設計一名為 Mechanisms 的 abstract base class。由於機構都需要提供輸入角速度或角加速度才能開始運動，因此其私有成員有角速度和角加速度兩項，並利用這兩個成員建構 Mechanisms 物件。對於每一種機構而言，計算桿件速度和加速度的公式方法都不相同，但所需已知是一樣的，在這裡便需要設計分別計算桿件速度和加速度的 pure virtual function，以便後面能對這兩個函式做重新定義。除此以外，在計算過程中需要調用機構本身的輸入速度和角速度，所以還需要兩個可以提取私有成員的函式。

設計完基底類別後，分別設計四連桿 FourBar、六連桿 SixBar 和曲柄滑塊 SliderCrank 類別，這些類別均繼承自 Mechanisms 類別以使用基底成員及函式。

四個桿件的長度和兩個耦點在耦桿原點的相對位置能唯一確定一個四連桿，因此其私有成員必須有兩個分別存取桿件長度和耦點位置的陣列。為了判斷輸入桿能否完整旋轉一圈，故私有成員也需要有存取此項資訊的 boolean value。建構物件時，需要傳入桿件長度陣列、耦點位置陣列、輸入角速度和角加速度。在公有函式方面，需要具備取得私有成員的函式和計算耦點速度和加速度的函式。根據前面公式，計算耦點速度時，需要傳入要存取速度資訊的陣列、桿長陣列、和角速度陣列，而計算耦點加速度時，還需要多輸入角加速度陣列作為引數，這些函式都不需要回傳任何資訊。

六連桿由兩個四連桿拼接而成，所以其私有成員需要存取八個長度資訊的陣列。同時需利用長度資訊、輸入角速度和角加速度建構六連桿物件。公有成員則需要具備獲取長度資訊的函式以方便進行速度和加速度的計算。

曲柄滑塊的建構行為需要使用到三個長度資訊和耦點位置(水平方向和垂直方向)資訊，故私有成員分別為存取三個長度資訊的陣列和存取耦點位置的陣列。建構物件時，需要使用上述兩個私有成員和輸入角速度及角加速度。為了方便進行後續計算，設計了提取長度和耦點位置資訊的函式。計算耦點速度和加速度的函式與四連桿的相同，因公式內僅使用到一項角速度或角加速度資訊，故輸入角速度和角加速度方面不需要使用陣列，而是改用 double 格式直接輸入。除此以外，曲柄滑塊類別也需要設計兩個函式以計算衝程和時間比。

對於以上三種機構物件，計算速度和加速度的虛擬函式均需要被重新定義。

二、程式類別功能及其之間的互動關係

Mechanisms 類別

```
class Mechanisms
{
private:
    double omega; // 角速度
    double alpha; // 角加速度

public:
    Mechanisms(const double omega = 0, const double alpha = 0); // 建構子

    virtual void Velocity(double*, double*) = 0; // 計算速度pure virtual function
    virtual void Acceleration(double*, double*, double*) = 0; // 計算加速度pure
virtual function

    double Omega() { return omega; }; // 獲取角速度
    double Alpha() { return alpha; }; // 獲取角加速度
};
```

FourBar 類別

```
class FourBar :public Mechanisms
{
private:
    double r[4]; // 桿件長度
    double coupler[2]; // 耦點在耦桿上位置
    bool fullRotation; // 能否轉一圈

public:
    FourBar(double*, double*, const double, const double); // 建構子

    virtual void Velocity(double*, double*); // 計算速度
    virtual void Acceleration(double*, double*, double*); // 計算加速度

    double* getLength() { return r; }; // 獲取r
    double* getCoupler() { return coupler; }; // 獲取coupler
    bool getRotation() { return fullRotation; }; // 獲取fullRotation
    void couplerPointVelocity(double*, double*, double*); // 計算耦點速度
    void couplerPointAcceleration(double*, double*, double*, double*); // 計算耦點
    加速度
};
```

SliderCrank 類別

```
class SliderCrank :public Mechanisms
{
private:
    double r[3]; // 偏置量+桿件長度
    double coupler[2]; // 耦點在耦桿上位置

public:
    SliderCrank(double*, double*, const double, const double); // 建構子

    virtual void Velocity(double*, double*); // 計算速度
    virtual void Acceleration(double*, double*, double*); // 計算角速度

    double* getLength() { return r; }; // 獲取r
    double* getCoupler() { return coupler; }; // 獲取coupler
    double stroke(); // 計算衝程
    double time_ratio(); // 計算時間比
    void couplerPointVelocity(double*, double*, double); // 計算耦點速度
    void couplerPointAcceleration(double*, double*, double, double); // 計算耦點
    加速度
};
```

SixBar 類別

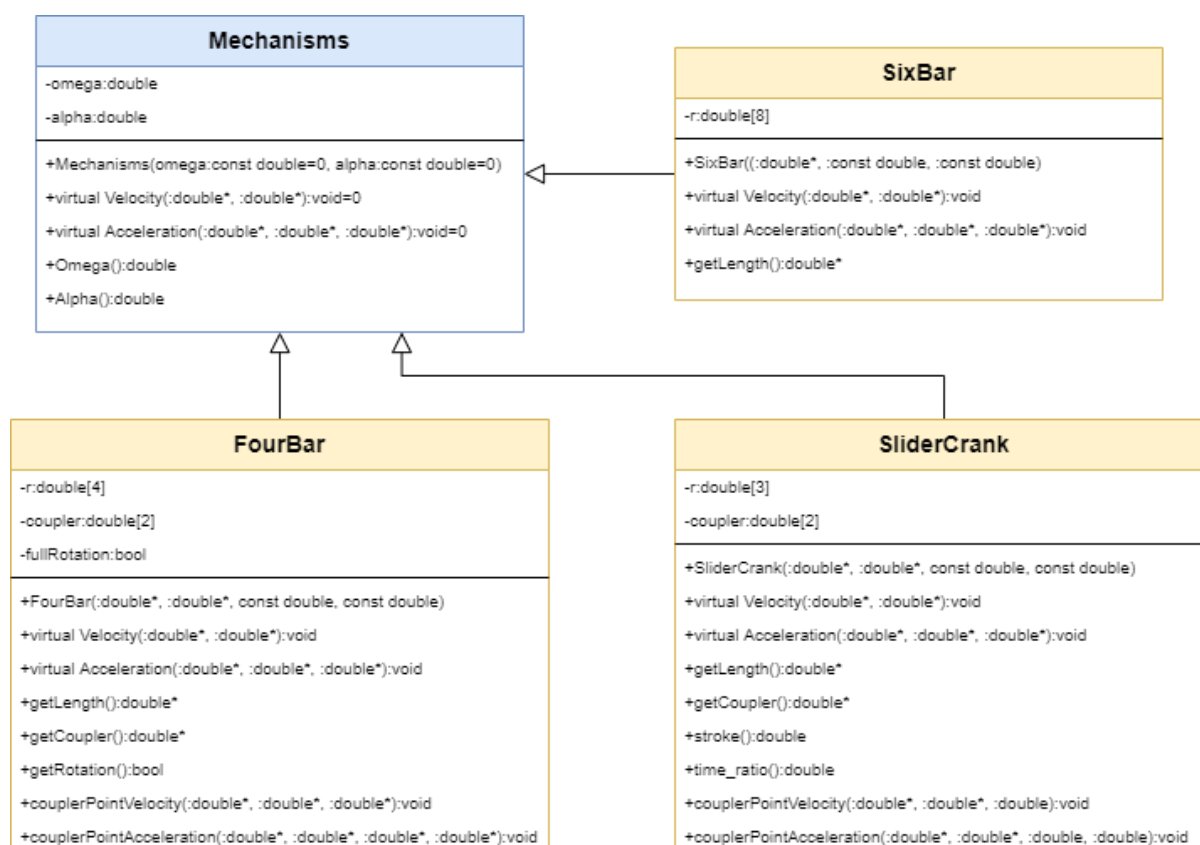
```
class SixBar :public Mechanisms
{
private:
    double r[8]; // 桿件長度

public:
    SixBar(double*, const double, const double); // 建構子

    virtual void Velocity(double*, double*); // 計算速度
    virtual void Acceleration(double*, double*, double*); //計算加速度

    double* getLength() { return r; }; // 獲取r
};
```

UML Diagram



三、使用工具

本次專題研究使用 OpenGL API 繪製動態機構二維圖，並且會使用以下標準函式庫：

- `<cmath>`
- `<windows.h>`
- `<gl.h>`
- `<glu.h>`
- `<glaux.h>`
- `<glut.h>`

四、例外之處理

四連桿機構擁有多種構型，依照各桿件長度關係分為 crank rocker、drag link、double rocker 和 triple rocker 四種，而在 triple rocker 中，又分為 inward/inward、outward/inward、inward/outward 和 outward/outward 四種。為了方便起見，本次研究僅考慮 crank rocker、drag link、double rocker 和 outward-outward triple rocker 四種情況進行實作。

欲組成四連桿機構，各桿件長度應滿足以下關係：

$$s + p + q \geq l$$

其中 s 為最短桿件長度， l 為最長桿件長度， p 和 q 為另兩個桿件的長度。

使用者輸入四連桿各桿件長度時，必須滿足 Grashof criterion：

$$s + l \leq p + q$$

若使用者輸入參數不滿足該特性，則需要另外加上以下限制使其成為 outward/outward triple rocker：

$$r_1 + r_2 \geq r_3 + r_4$$

$$r_1 + r_4 \geq r_2 + r_3$$

如果使用者輸入長度均不滿足以上關係，則關閉確認按鈕功能，直到使用者輸入的數值符合以上條件為止。

若四連桿為 double rocker 或 triple rocker，表示輸入桿不能旋轉 360 度，必須考慮輸入桿可擺動的角度幅度。

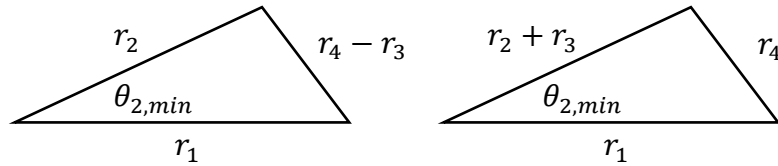


Figure 7 Double rocker (左) 和 triple rocker (右) 的起始輸入角度

$$\theta_{2,min} = \cos^{-1} \frac{r_1^2 + r_2^2 - (r_4 - r_3)^2}{2r_1r_2} \text{ or } \theta_{2,min} = \cos^{-1} \frac{r_1^2 + (r_2 + r_3)^2 - r_4^2}{2r_1(r_2 + r_3)}$$

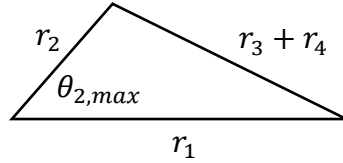


Figure 8 最大輸入角度

$$\theta_{2,max} = \cos^{-1} \frac{r_1^2 + r_2^2 - (r_3 + r_4)^2}{2r_1r_2}$$

除此以外，double rocker 和 triple rocker 的耦桿有不同的運動現象（double rocker 的耦桿會連續旋轉），因此在分析 double rocker 時需要根據機構狀況對 θ_4 的計算公式進行修正（改變求根公式正負號）。

本次研究開發的程式具有防呆機制，當使用者的輸入出現以下情況，關閉確認按鈕功能，以防止程式錯誤：

- 輸入不是數值
- 桿件長度為負值
- 輸入的參數不符合組成機構條件

五、 遭遇的困難及其解決辦法

撰寫程式的過程中，最大的問題出在四連桿的例外情況中。因為 double rocker 的耦桿在連續旋轉的時候， θ_4 的計算不能持續使用同一個公式，否則會出現桿件旋轉過程卡住回彈的情況。為了解決這個問題，我在程式內宣告一個靜態變數 n ，並且把計算公式變為如下形式：

$$\theta_4 = 2 \tan^{-1} \frac{-b - (-1)^n \sqrt{b^2 - 4de}}{2d}$$

當機構為 double rocker 而且輸入桿是由逆時針旋轉變為順時針旋轉時，便令 $n=1$ ，否則 $n=0$ 。這種定義可以使 double rocker 的耦桿順利進行旋轉。

在設計繪製耦桿曲線的功能時，原先想法是讓機構在運動時會在耦點處拉出一條曲線。但因為我對 OpenGL 的 color buffer bit 切換不是那麼熟悉，所以採取折中的方案，在繪製耦桿曲線時不清除 color buffer bit，讓機構先暫停轉動，讓曲線順利沿著路徑畫出。

六、 使用者介面操作方式



Figure 9 主視窗

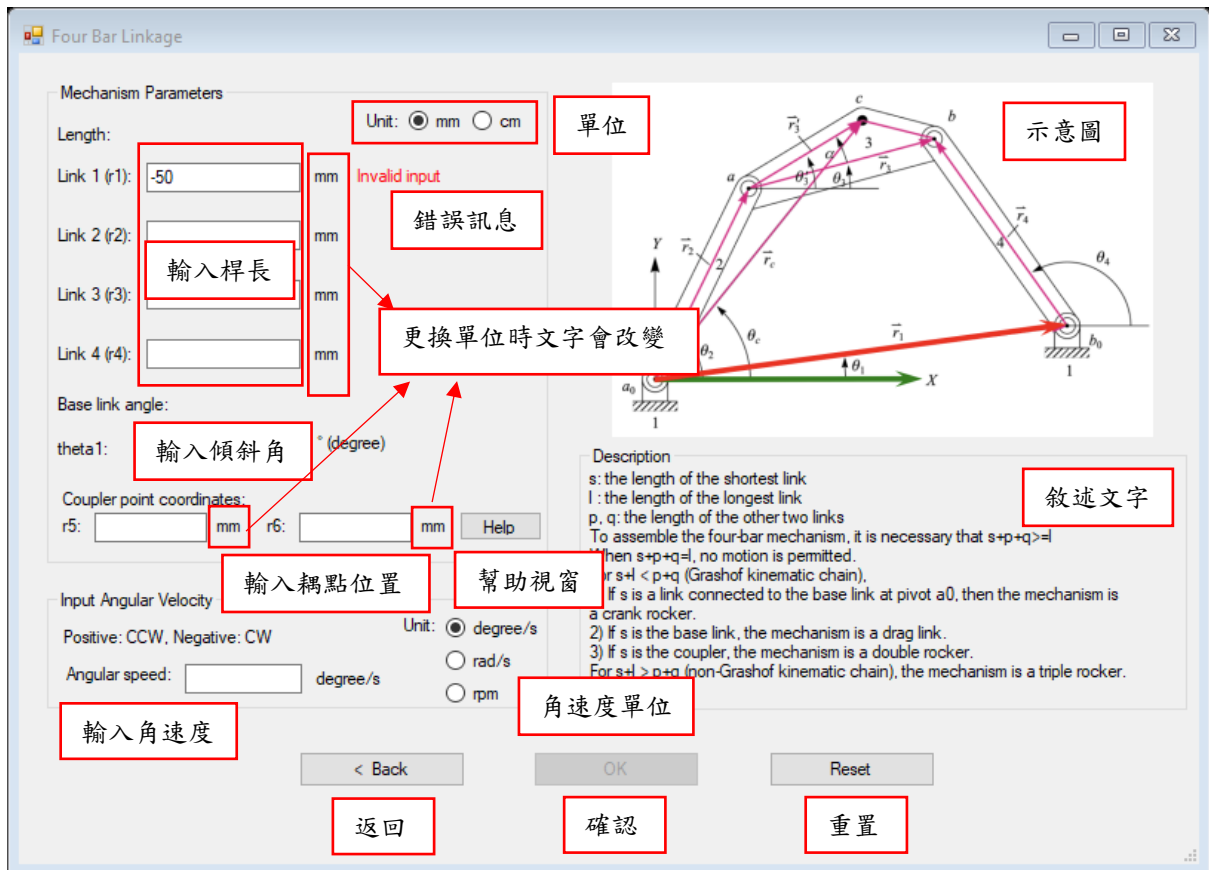


Figure 10 輸入四連桿參數視窗

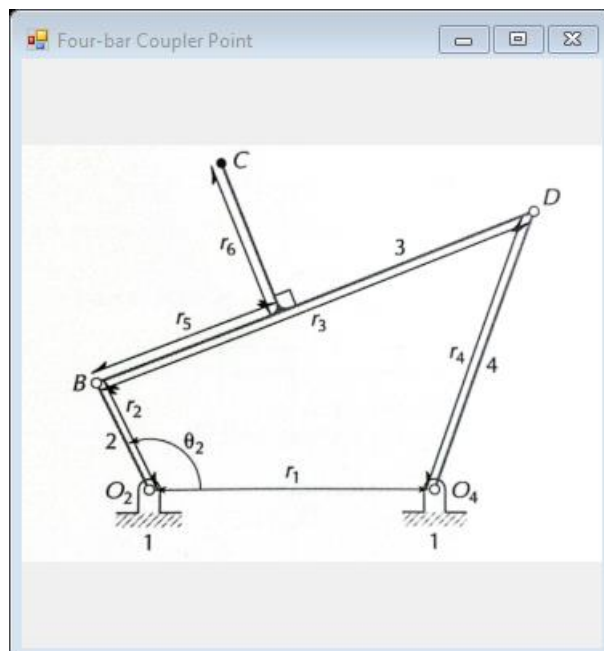


Figure 11 四連桿耦點幫助視窗

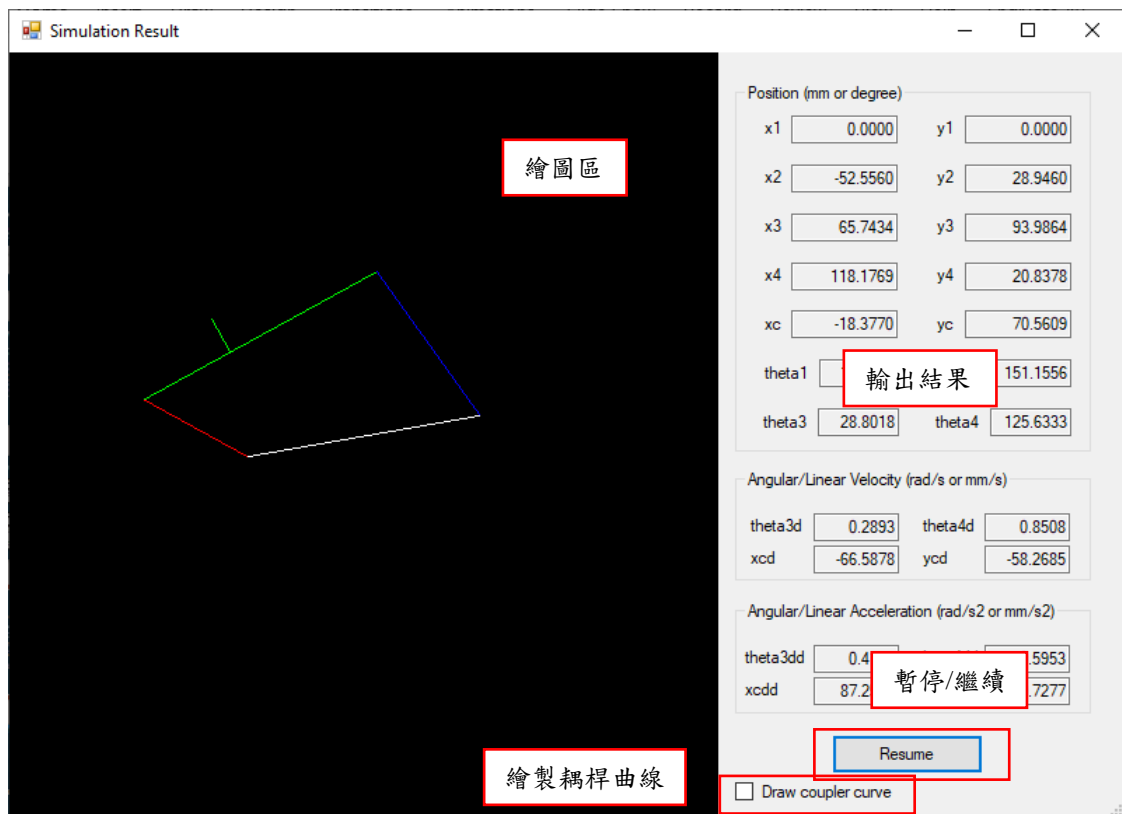


Figure 12 四連桿模擬視窗

Slider Crank Mechanism

Mechanism Parameters

Length: 輸入桿長

Unit: ☒ mm ☐ cm

Offset (r1): mm

Crank (r2): -4 mm Invalid input. 錯誤訊息

Coupler (r3): mm

Coupler point coordinates:

r5: mm r6: mm Help

輸入耦點位置

幫助視窗

Input Angular Velocity

Positive: CCW, Negative: CW

Unit: ☒ degree/s ☐ rad/s ☐ rpm

Angular speed: degree/s

輸入角速度

角速度單位

Description

In order for the crank to have full rotation, it is necessary that $r_2 < r_3$ and $|r_1| \leq r_3 - r_2$
 It is possible to assemble the mechanism when $|r_1| \leq r_2 + r_3$
 It is impossible to assemble the mechanism when $|r_1| > r_2 + r_3$
 1>0: upward r1<0: downward

敘述文字

< Back OK Reset

返回 確認 重置

Figure 13 輸入曲柄滑塊參數視窗

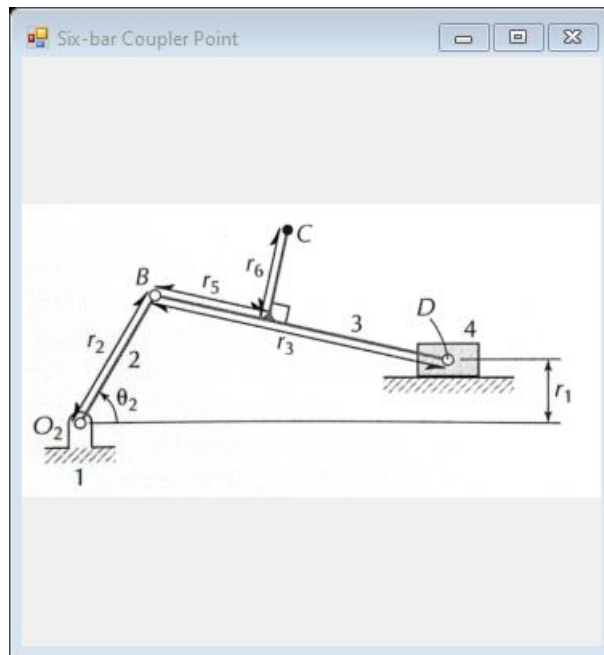


Figure 14 曲柄滑塊耦點幫助視窗

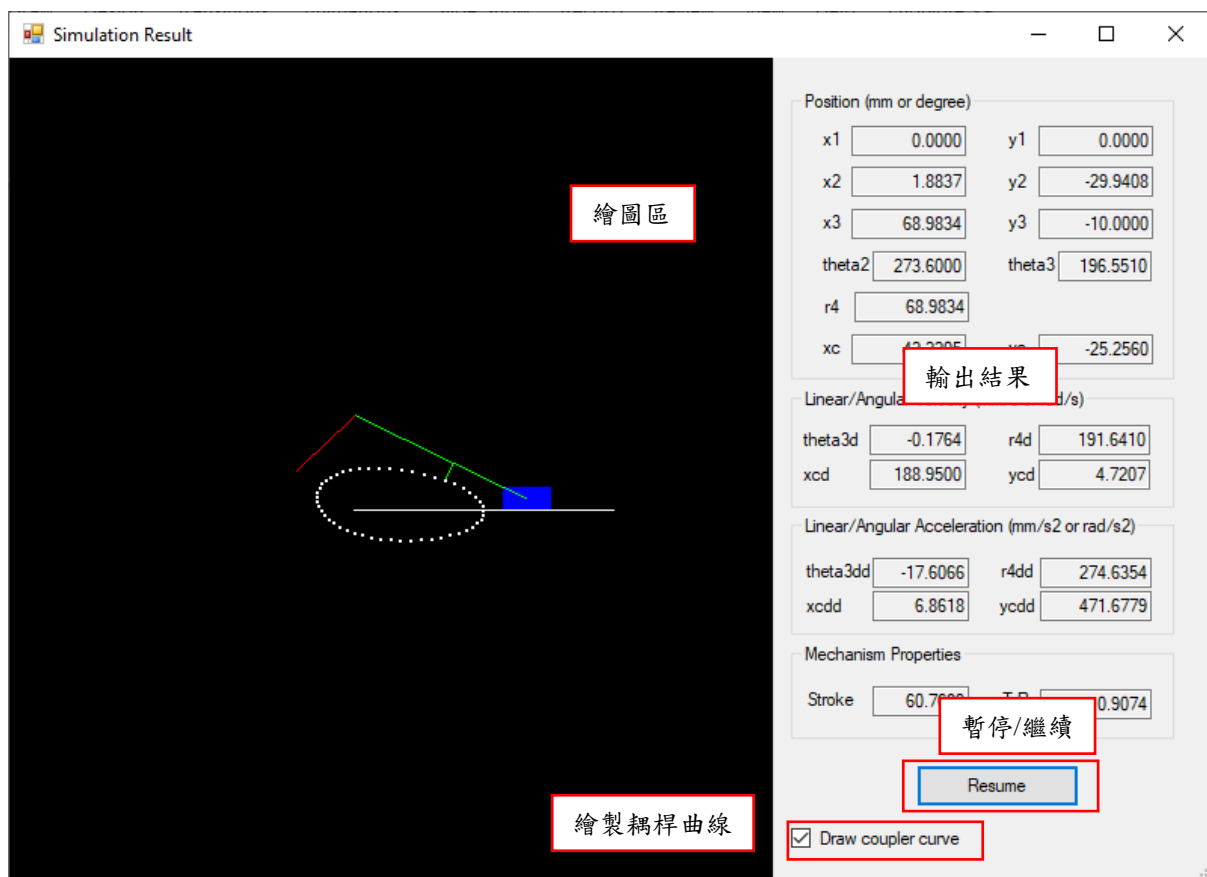


Figure 15 曲柄滑塊模擬視窗

Six Bar Linkage

Mechanism Parameters

Unit: ☒ mm ☐ cm

Length:

Link 1 (r1): mm Link 5 (r5): mm

Link 2 (r2): mm Link 6 (r6): mm

Link 3 (r3): mm Link 7 (r7): mm

Link 4 (r4): mm Link 8 (r8): mm

Input Angular Velocity

Positive: CCW, Negative: CW

Unit: ☒ degree/s ☐ rad/s ☐ rpm

Angular Speed: degree/s

Diagram: 示意圖

Description

Six-bar linkage is composed by two four-bar linkages.
 If the mechanism have full rotation, the mechanism r1 to r4 must satisfy the following properties:
 $s+l < p+q$ and $s+p+q \geq l$
 s : the length of the shortest link
 l : the length of the longest link
 p, q : the length of the other two links

敘述文字

輸入角速度

< Back OK Reset

返回 確認 重置

Figure 16 輸入六連桿參數視窗

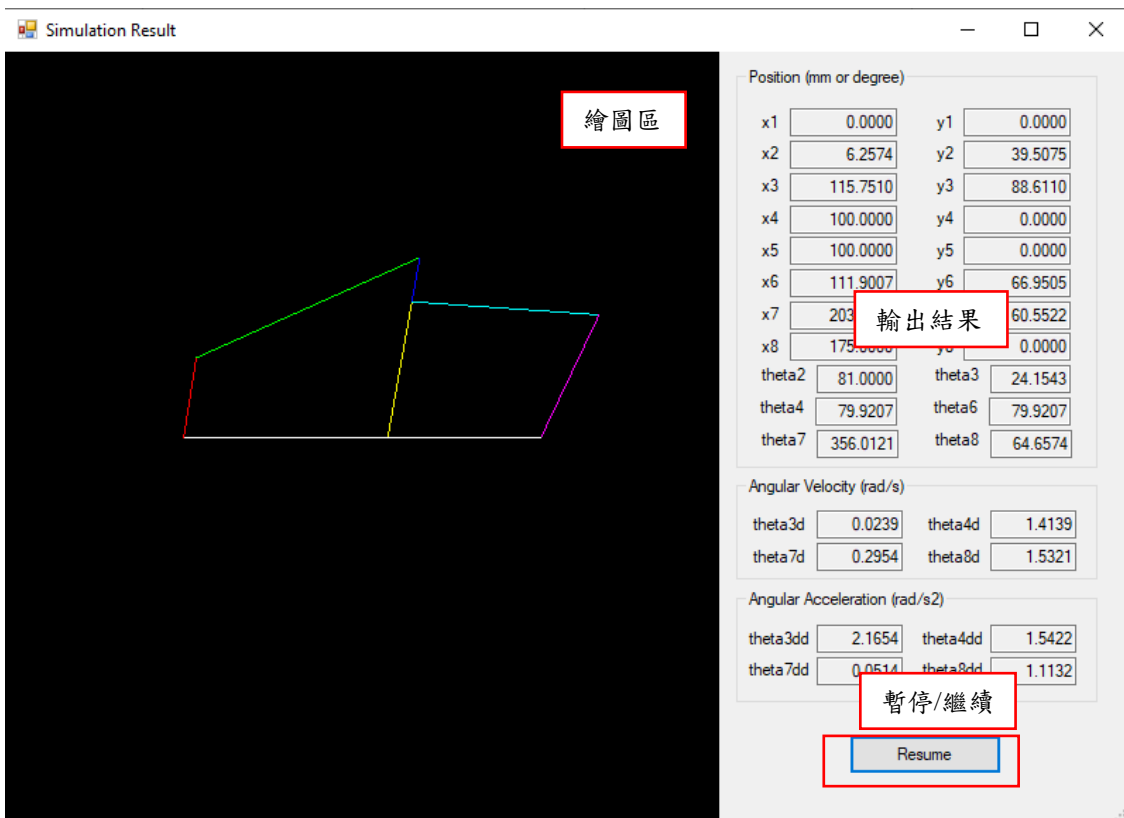


Figure 17 六連桿模擬視窗

結論與未來展望

本程式目前已完成大部分模擬工作，但在四連桿的 double rocker 和 triple rocker 部分尚未對負轉速的情況進行 debug，所以在使用時會出現問題。日後需要對四連桿例外情況的計算方法做出改進，否則撰寫程式難度頗大。

未來程式可在 OpenGL 繪圖方面使用三角網格進行桿件繪製，使得畫面更為精緻美觀。此外，程式可增加輸入資訊並馬上輸出結果的功能，在想要了解單點資訊時較為便利。希望以後可以新增在模擬過程中繪製各桿件的位置、速度及加速度對時間的動態曲線圖，更有利於機動學的學習。同時也能夠增加新的機構種類，以增進程式的豐富程度。

參考文獻

1. William L.Cleghorn, Nikolai Dechev, Mechanics of Machines, International 2nd edition.
2. Non-Grashof Linkages
<https://www.softintegration.com/chhtml/toolkit/mechanism/fourbar/fourbarNonGrashof.html>
3. 國立成功大學機械工程學系黃文敏教授機動學 PPT

附錄

一、 程式巨觀流程圖

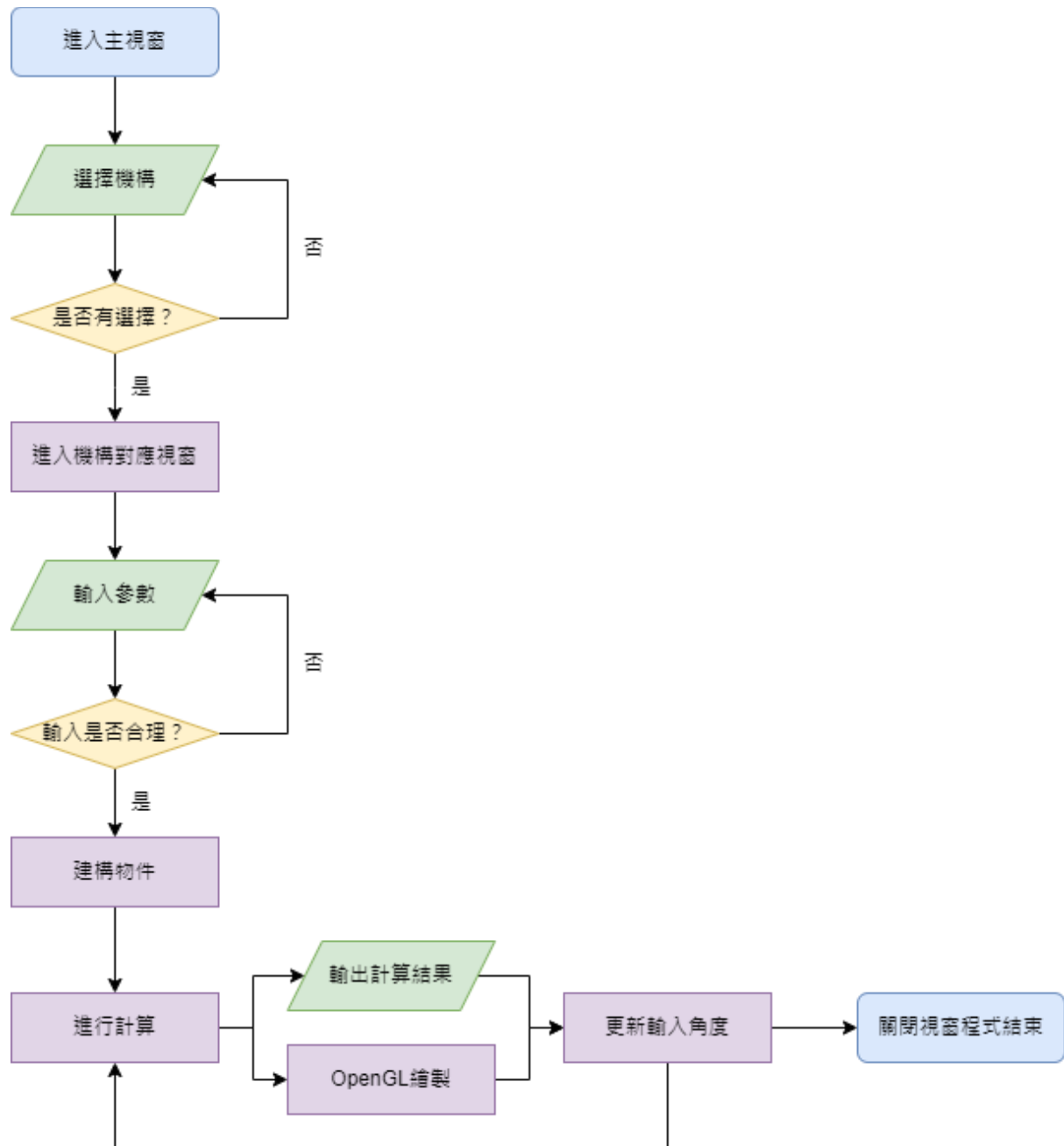


Figure 18 程式巨觀流程圖

二、執行結果

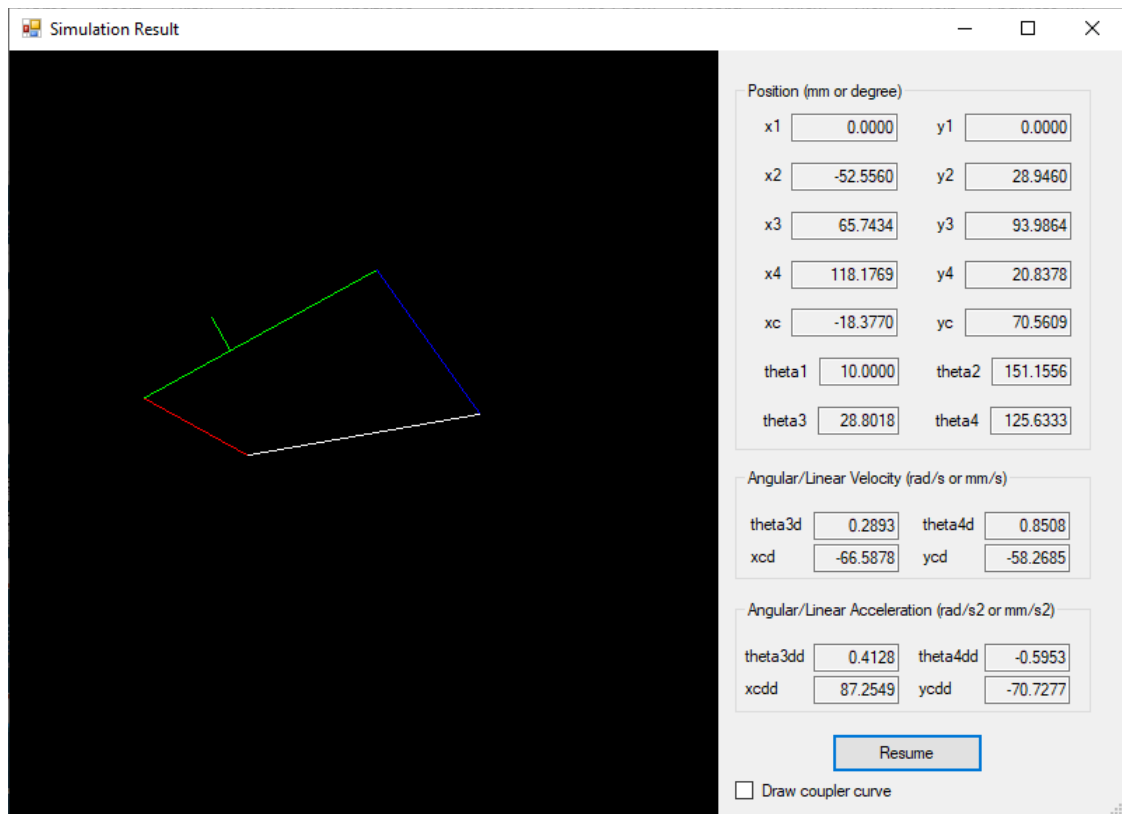


Figure 19 四連桿執行結果

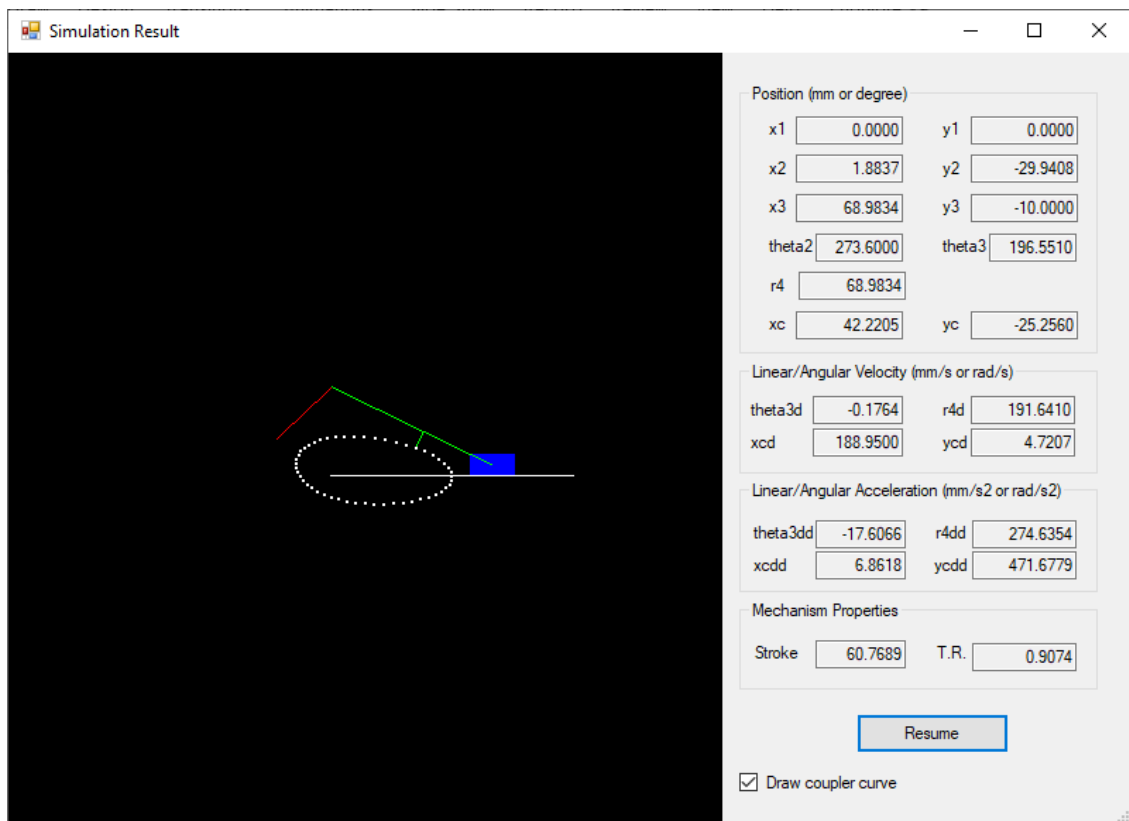


Figure 20 曲柄滑塊執行結果

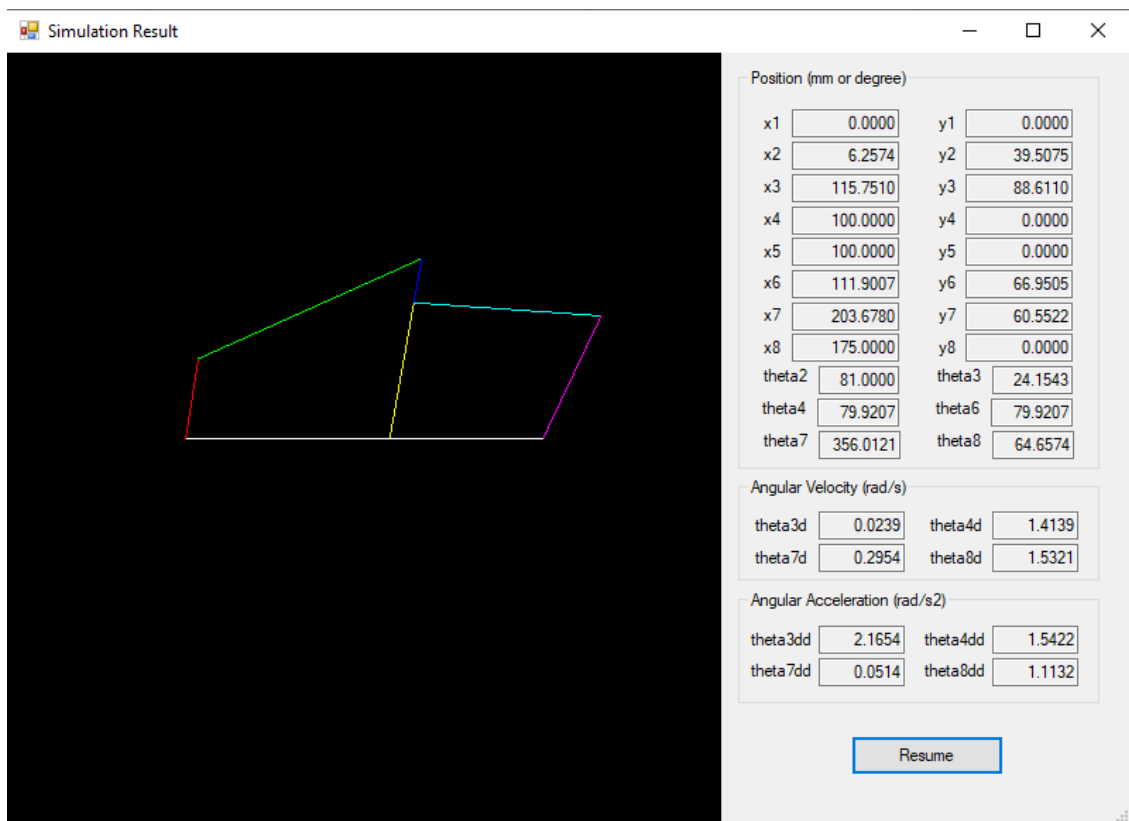


Figure 21 六連桿執行結果