

# 氣壓伺服三軸平行機構機械臂設計與控制

江茂雄 博士

先進流體傳動控制實驗室  
國立台灣大學 工程科學及海洋工程系



# 大綱

- 緒論
- 實驗機台介紹
- 系統數學模型
- 控制器設計
- 模擬分析
- 實驗結果與討論
- 結論



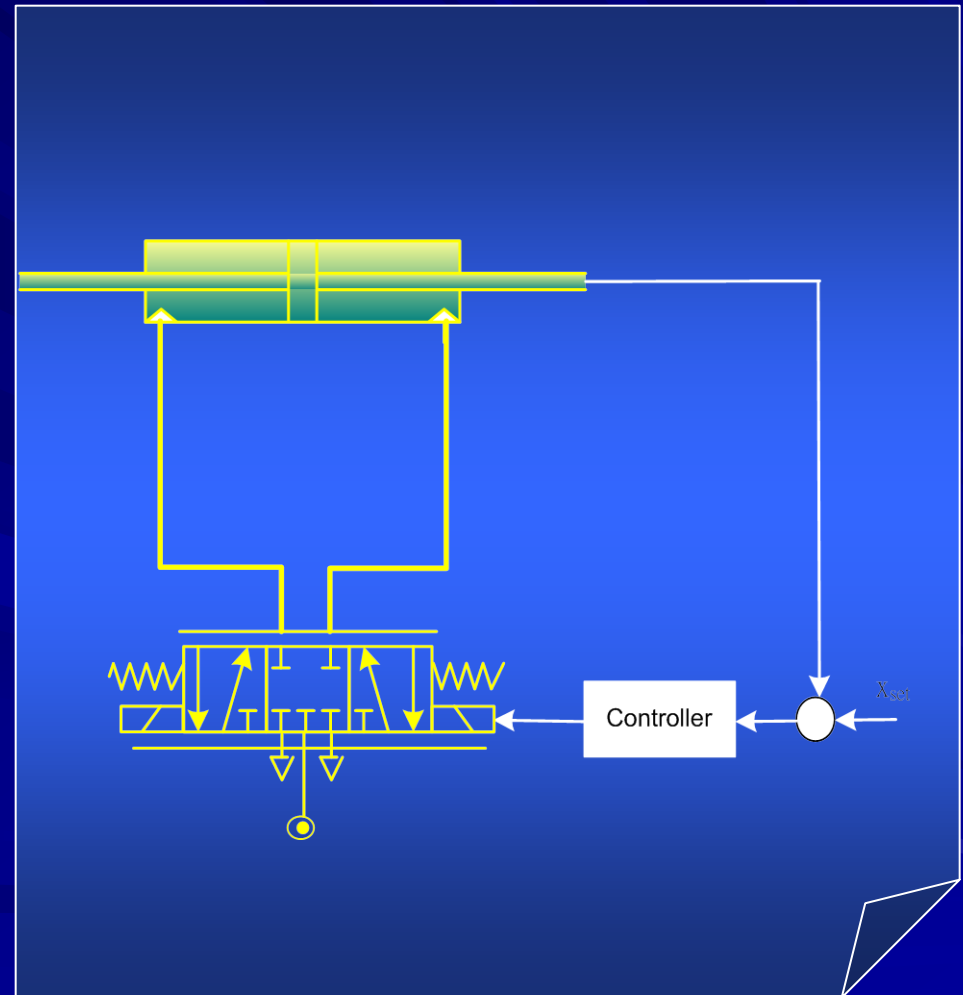
# 氣壓伺服位置控制系統

## ✓ 優點：

- 低成本
- 乾淨
- 高響應

## ✗ 缺點：

- 非線性
  - 剛性差
  - 高摩擦力
- 影響系統精確度

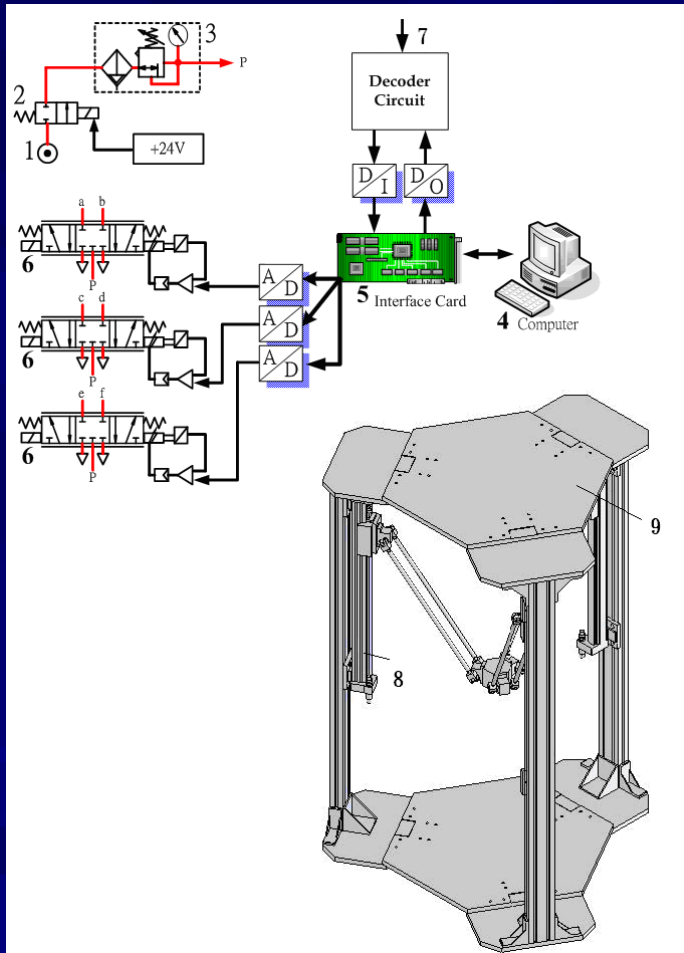


# 大綱

- 緒論
- 實驗機台介紹
- 系統數學模型
- 控制器設計
- 模擬分析
- 實驗結果與討論
- 結論



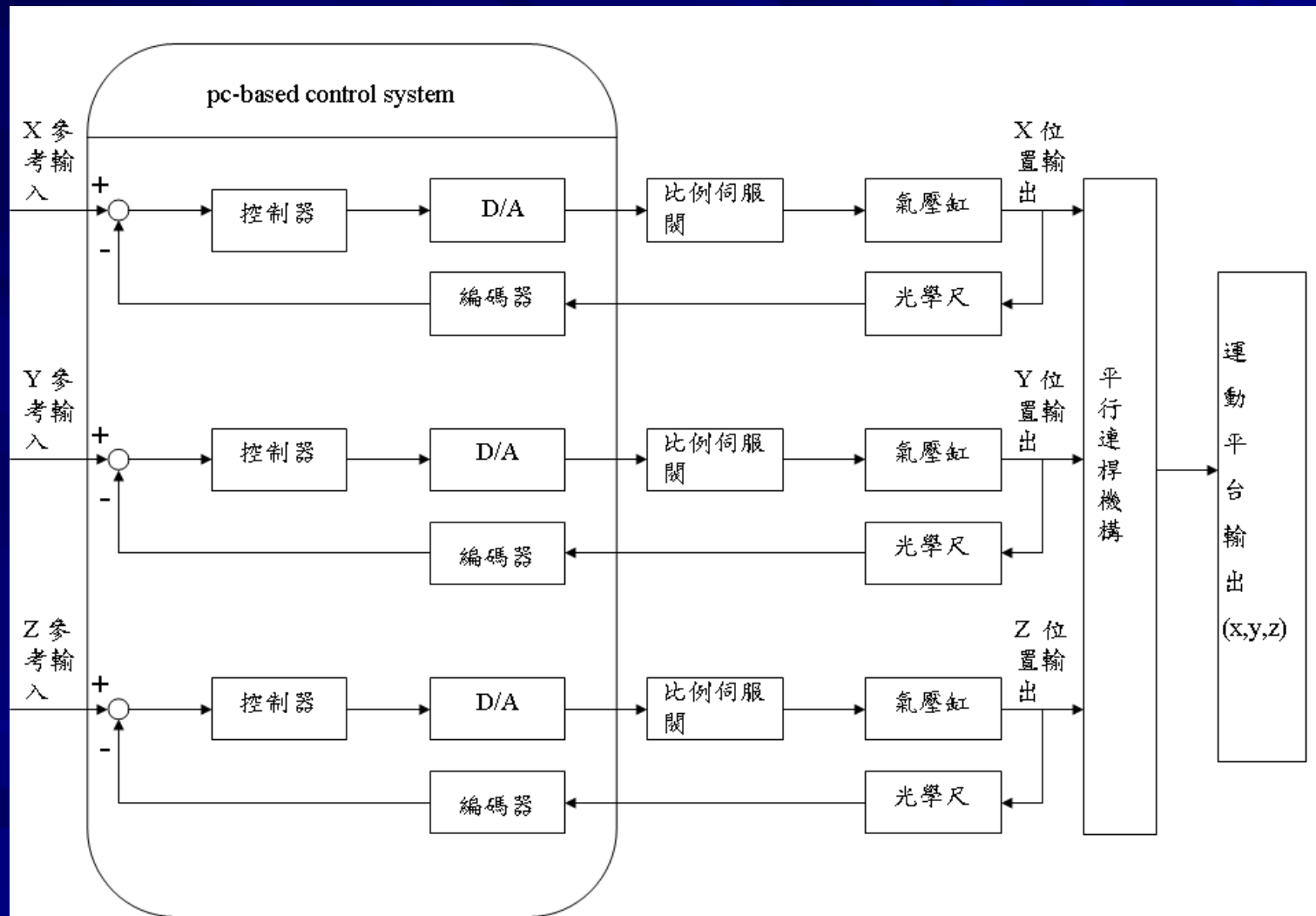
# 氣壓伺服三軸平行機構機械臂架構圖



- 1. 氣壓源
- 2. 開關閥
- 3. 空氣調理器
- 4. pc-based 控制器
- 5. 控制介面卡
- 6. 比例伺服閥
- 7. 光學尺
- 8. 無桿式氣壓缸
- 9. 氣壓伺服三軸平行機構機械臂



# 系統控制方塊圖

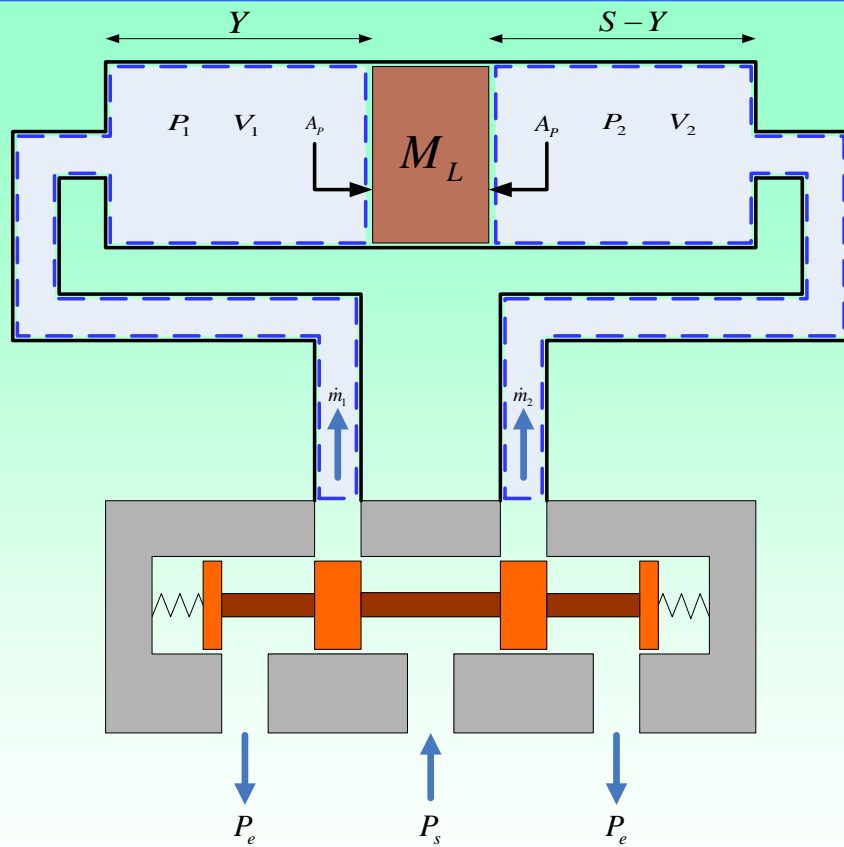


# 大綱

- 緒論
- 實驗機台介紹
- 系統數學模型
- 控制器設計
- 模擬分析
- 實驗結果與討論
- 結論



# 氣壓系統數學模型(1/4)



$S$  : 氣壓缸總行程

$Y$  : 活塞位置

$M_L$  : 活塞負載重量

$A_p$  : 活塞截面積

$P_s$  : 氣壓源壓力

$P_e$  : 排氣口壓力

$V_i$  : 氣壓缸內的控制空間,  $i=1,2$

$P_i$  : 氣壓缸內氣室的氣體壓力,  $i=1,2$

$\dot{m}_i$  : 氣壓缸內氣室之質量變化率,  $i=1,2$

$$\dot{P} = \frac{\gamma}{V} (\dot{m} RT - PV \dot{V})$$





# 平行機構逆向運動學分析

- ◆ D-H座標轉換包含四個參數：桿長、接頭轉角、扭轉角及偏置量，藉由此四個參數設定，描述本系統的運動關係。
- ◆ D-H座標轉換為表示兩座標系之間的齊次轉換矩陣運算法則，其數學表示式為

$${}^{n-1}T_n = Rot(z_{n-1}, \theta_n) \times Trans(z_{n-1}, l_n) \times Trans(x_n, d_n) \times Rot(x_n, \alpha_n)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \theta_n & -\sin \theta_n \times \cos \alpha_n & \sin \theta_n \times \sin \alpha_n & d_n \times \cos \theta_n \\ \sin \theta_n & \cos \theta_n \times \cos \alpha_n & -\cos \theta_n \times \sin \alpha_n & d_n \times \sin \theta_n \\ 0 & \sin \alpha_n & \cos \alpha_n & l_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



# 大綱

- 緒論
- 實驗機台介紹
- 系統數學模型
- 控制器設計
- 模擬分析
- 實驗結果與討論
- 結論



# 函數近似基礎之適應性滑動控制結合 $H_\infty$ 控制補償(4/6)

將(4-13)式對時間取一次微分，並將(4-9)、(4-11)、(4-12)代入，可得

$$\dot{V} \leq -k|s| - \frac{1}{2} \mathbf{e}^T \mathbf{Q} \mathbf{e} + s w(t) \leq -k_1 |s| - \frac{1}{2} \mathbf{e}^T \mathbf{Q} \mathbf{e} \leq 0 \quad (4-14)$$

根據Barbarlet's lemma得證當  $t \rightarrow \infty$  則  $s \rightarrow 0$ 、 $\mathbf{e} \rightarrow 0$

為改善  $k \operatorname{sgn}(s)$  造成chattering現象，將  $\frac{s}{2\rho^2}$  取代  $k \operatorname{sgn}(s)$  控制輸入可得

$$u(t) = \frac{-\hat{\mathbf{W}}_F^T \mathbf{q}_F(t) - \sum_{i=1}^{n-1} a_i e_{i+1}(t) - \sum_{i=1}^{n-1} p_{(n-1)i} e_i(t) + y_m^{(n)}(t) - \frac{s}{2\rho^2}}{\hat{\mathbf{W}}_g^T \mathbf{q}_g(t)} \quad (4-15)$$



# 大綱

- 緒論
- 實驗機台介紹
- 系統數學模型
- 控制器設計
- **模擬分析**
- 實驗結果與討論
- 結論



# 模擬項目

## 1. 氣壓系統軌跡定位控制模擬

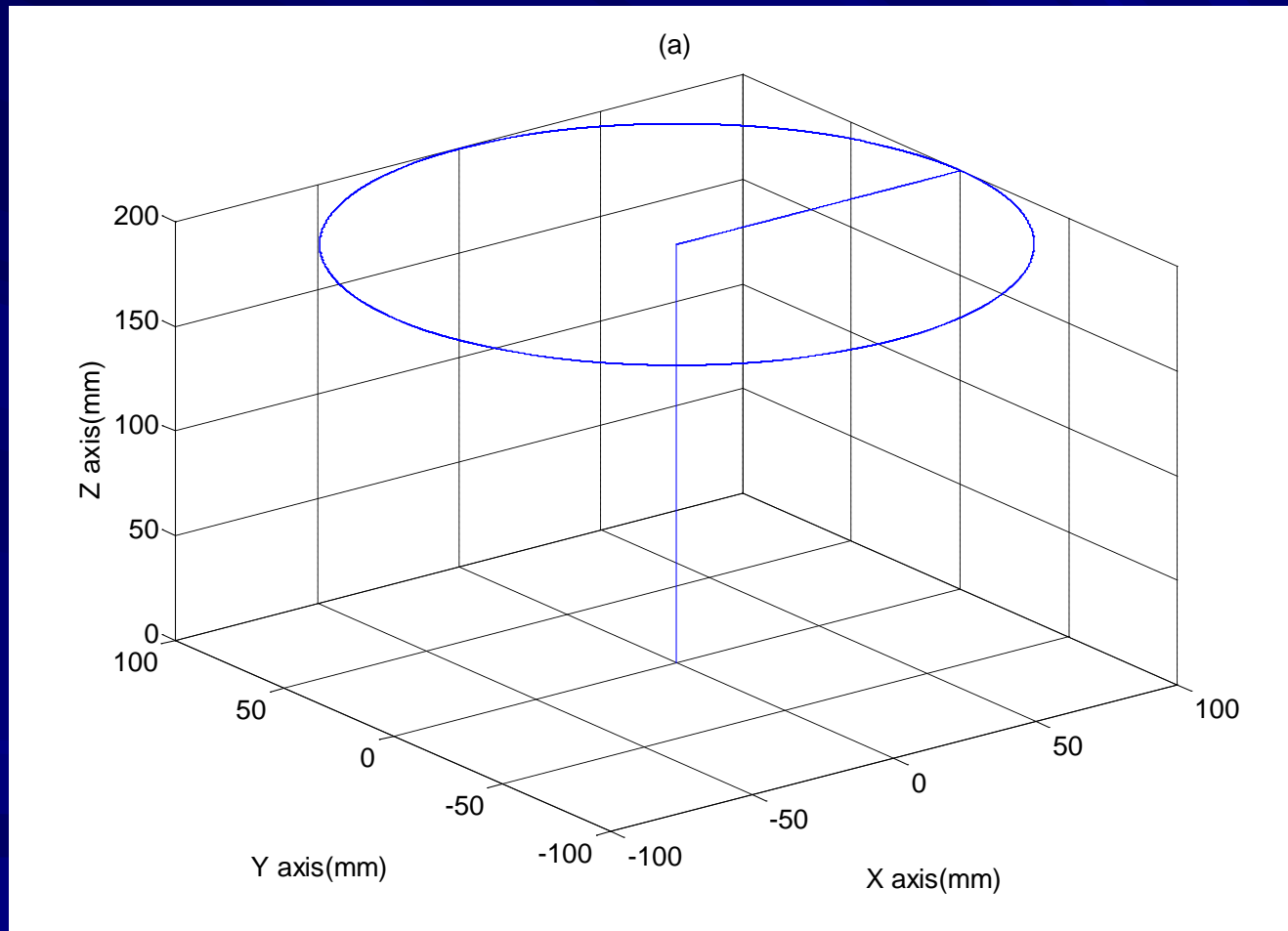
- a) 氣壓系統400mm五階軌跡定位控制模擬

## 2. 運動平台端點軌跡之逆運動學模擬

- a) 運動平台端點圓軌跡之逆運動學模擬
- b) 運動平台端點球軌跡之逆運動學模擬
- c) 運動平台端點螺旋軌跡之逆運動學模擬
- d) 運動平台端點三維直線軌跡之逆運動學模擬



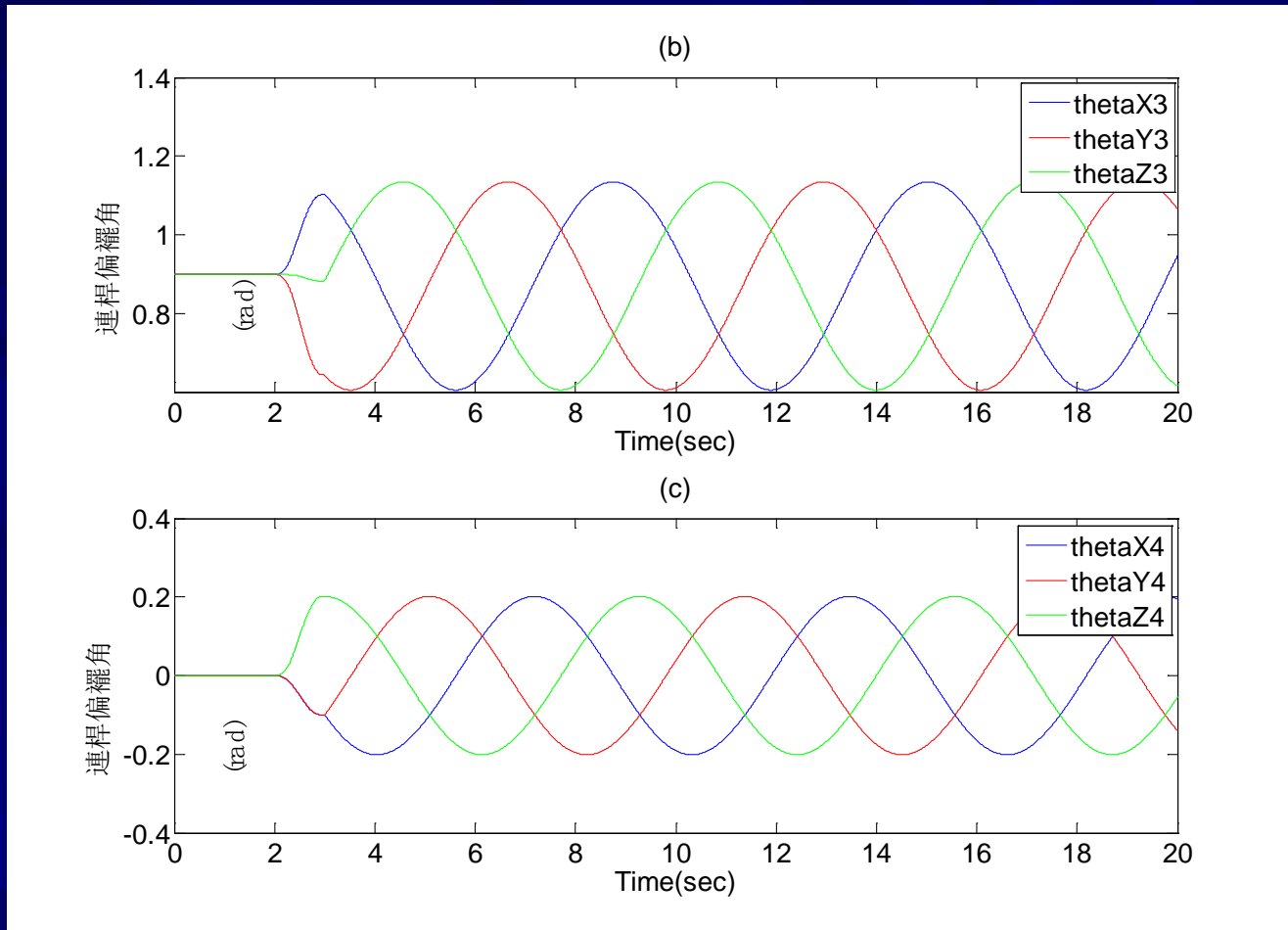
# 運動平台端點圓軌跡之逆運動學模擬(1/3)



(a)運動平台端點圓軌跡圖



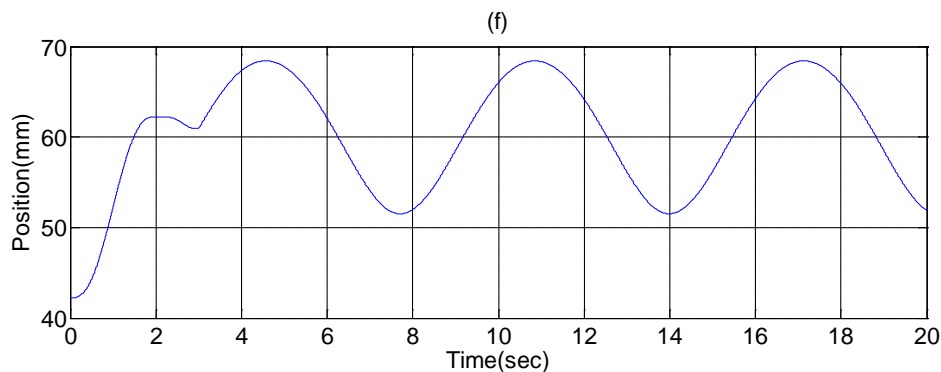
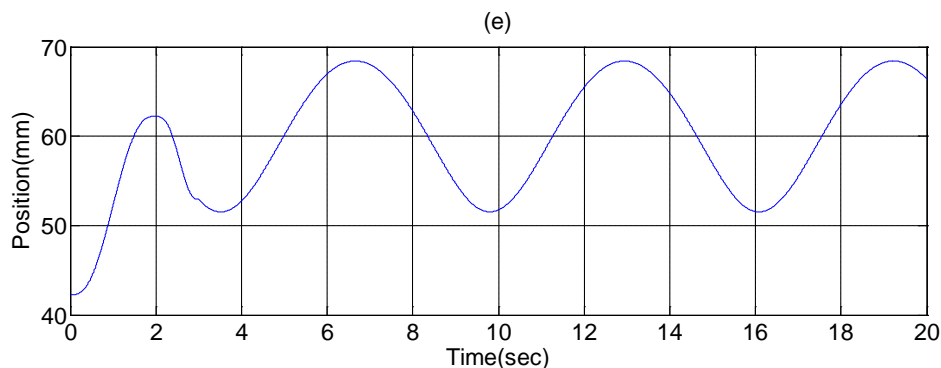
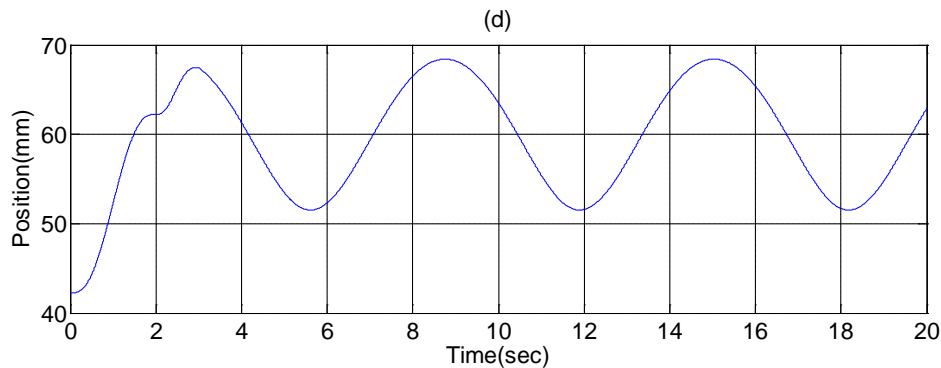
# 運動平台端點圓軌跡之逆運動學模擬(2/3)



(b)、(c)逆解之連桿偏擺角變化



# 運動平台端點圓軌跡之逆運動學模擬(3/3)



**(d)、(e)、(f)分別為逆解之X、Y、Z軸軌跡變化**





# 大綱

- 緒論
- 實驗機台介紹
- 系統數學模型
- 控制器設計
- 模擬分析
- **實驗結果與討論**
- 結論



# 實驗項目

## 1. 個別單軸氣壓伺服系統控制實驗

- a) 個別單軸氣壓伺服系統五階軌跡定位控制實驗
- b) 個別單軸氣壓伺服系統sine軌跡追蹤控制實驗

## 2. 三軸同動氣壓伺服系統控制實驗

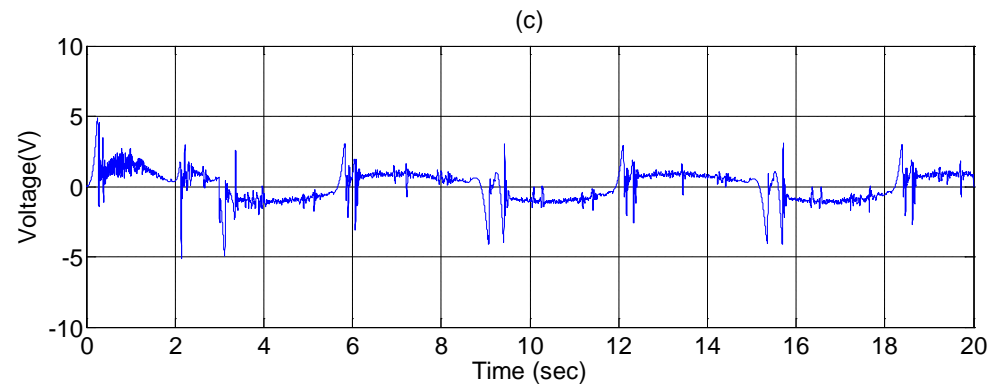
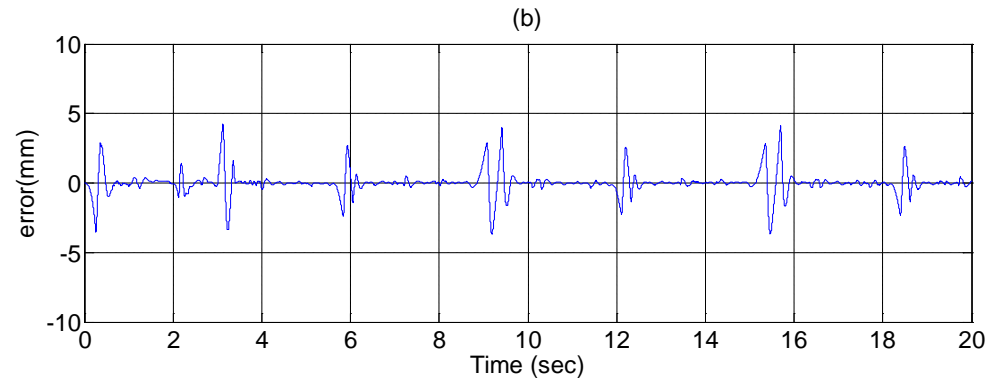
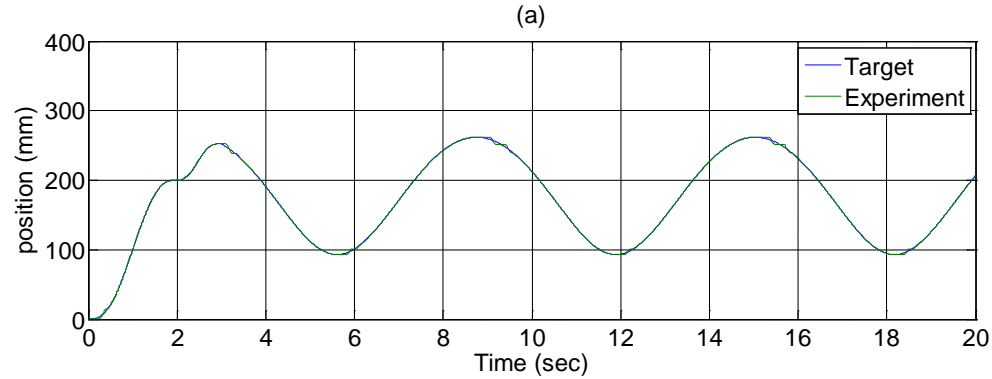
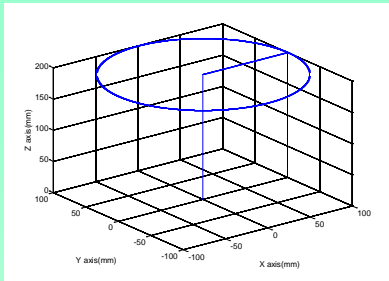
- a) 三軸同動氣壓伺服系統五階軌跡定位控制實驗
- b) 三軸同動氣壓伺服系統sine軌跡追蹤控制實驗

## 3. 平行連桿三軸氣壓伺服系統控制實驗

- a) 平行連桿三軸氣壓伺服系統運動平台端點五階軌跡定位控制實驗
- b) 平行連桿三軸氣壓伺服系統運動平台端點sine軌跡追蹤控制實驗
- c) 平行連桿三軸氣壓伺服系統運動平台端點圓軌跡追蹤控制實驗
- d) 平行連桿三軸氣壓伺服系統運動平台端点球軌跡追蹤控制實驗
- e) 平行連桿三軸氣壓伺服系統運動平台端點螺旋軌跡追蹤控制實驗
- f) 平行連桿三軸氣壓伺服系統運動平台端點三維直線軌跡追蹤控制實驗



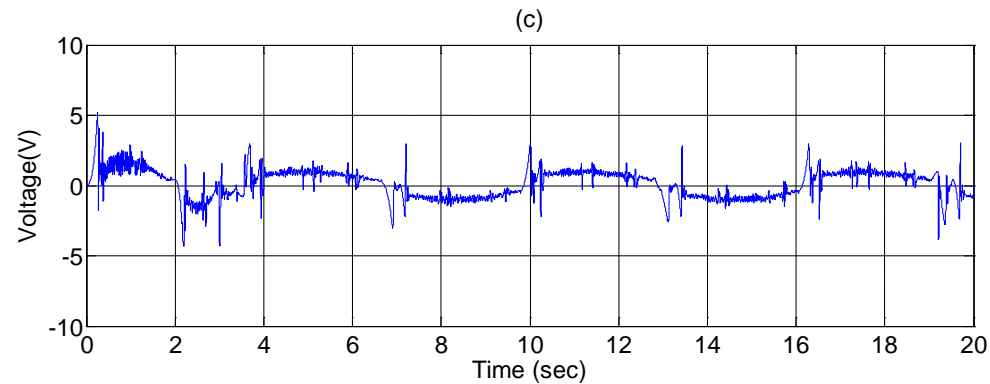
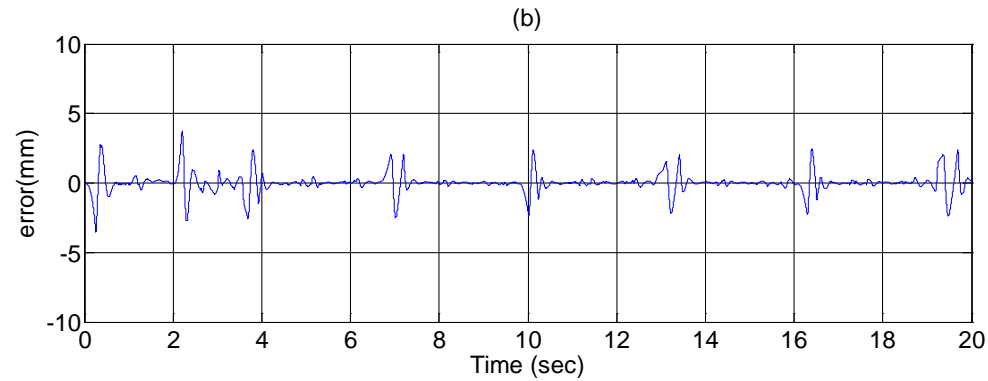
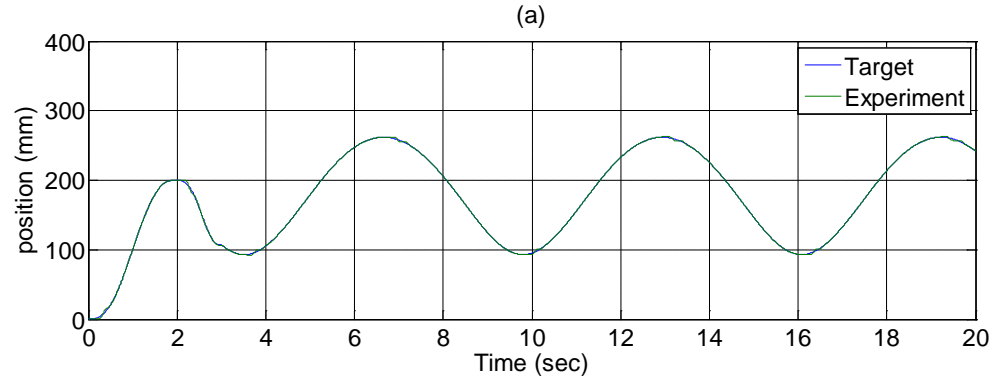
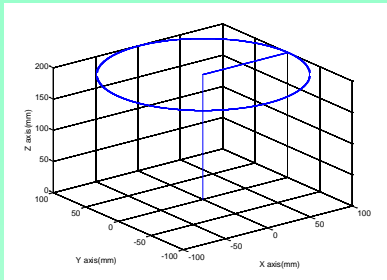
# 平行連桿三軸氣壓系統運動平台端點圓軌跡追蹤控制實驗結果(X)



**(a)系統響應(b)誤差(c)控制訊號**

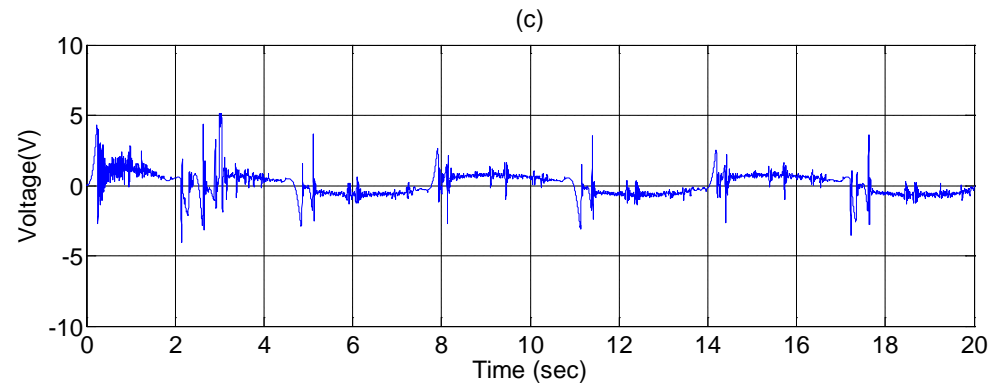
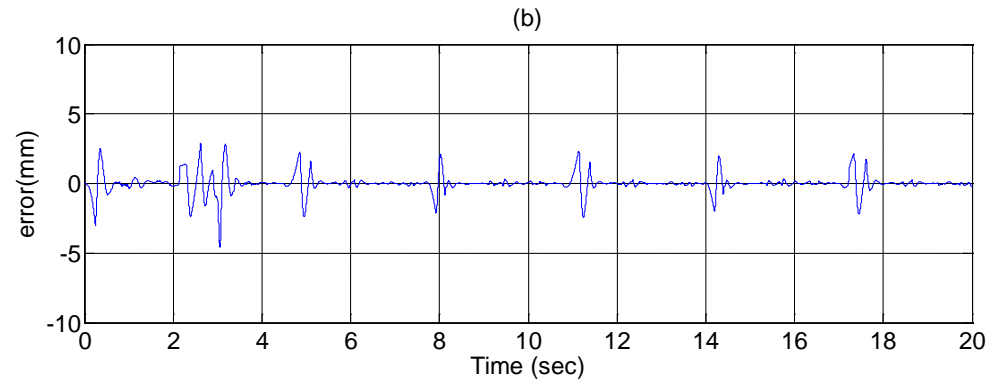
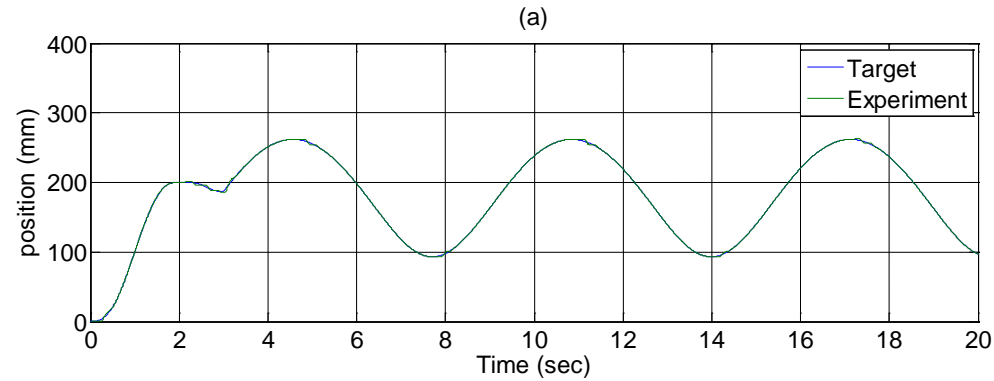
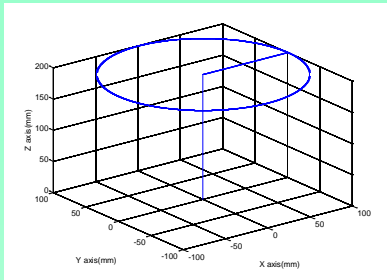


# 平行連桿三軸氣壓系統運動平台端點圓軌跡追蹤控制實驗結果(Y)



**(a)系統響應(b)誤差(c)控制訊號**

# 平行連桿三軸氣壓系統運動平台端點圓軌跡追蹤控制實驗結果(Z)



**(a)系統響應(b)誤差(c)控制訊號**

# 大綱

- 緒論
- 實驗機台介紹
- 系統數學模型
- 控制器設計
- 模擬分析
- 實驗結果與討論
- 結論



# 結論

- 1) 利用solidwork設計氣壓伺服三軸平行機構機械臂，以函數近似法為基礎之適應性滑動模式控制結合控制補償之軌跡控制器，採用D-H座標轉換來求解平行連桿運動平台端點逆向運動學軌跡解，實現運動平台端點軌跡追蹤控制實驗。
- 2) 設計之控制器能有效的使系統在不同行程的五階軌跡定位控制上，皆能達到極佳的軌跡追蹤精度。在sine軌跡追蹤控制上，能使氣壓缸作快速來回運動，最大響應頻率為5Hz。



- 3) 本文所分析的機構逆向運動學搭配控制器，成功的實現於實際機台，使得運動平台端點軌跡符合規劃軌跡情形。
  
- 4) 由於本實驗機台採用閉合鏈方式設計，其順向運動學解不唯一且計算過程複雜，因而運動平台端點精確軌跡不易求得，未來希望能使用光學量測儀器進行運動平台端點量測，更切確的要求運動平台端點軌跡精度，以滿足工業上高精確度的需求。

