

# 兩軸機械手臂之 PID-FUZZY 混合控制

## PID-FUZZY hybrid control of two-axis robot manipulators

鄭詠賢<sup>1</sup>、黃正自<sup>2</sup>

<sup>1</sup>文化大學機械工程學系數位機電碩士班研究生

<sup>2</sup>文化大學機械工程學系數位機電碩士班教授

Email:pj5112197@hotmail.com

### 摘要

本論文主要製作 PID-FUZZY 混合控制器，並和傳統的 PID 控制器、FUZZY 控制器做比較，改良 PID 控制器與 FUZZY 控制器所做不到的地方。PID 控制主要優點是：1. 結構簡單、2. 穩定性好、3. 調整方便，缺點是複雜的數學模型撰寫不易與耗費的電源過大。而 FUZZY 控制主要優點有：1. 不需要知道受控系統的數學模型單純以人類思考模式，去撰寫模糊控制規則達到控制目的；2. 耗費電源低。但是控制精度不高為其主要缺點。機械手臂屬於多輸入多輸出非線性動態系統，如何在非線性動態系統中加進 PID 控制原理是本論文最大的挑戰。本論文利用混合控制器已達到精準度比 FUZZY 控制還要好，並克服 PID 控制器在控制時會有電壓過大而產生陡坡現象，因此結合了 PID 與 FUZZY 控制器的優點。

**關鍵字：**PID 控制、FUZZY 控制、機械手臂

### 1. 前言

機械手臂在現今工業應用已經相當廣泛[1]，因為各個國家產業分佈的不同，所以各產業對於機械手臂的需求量也有差異。機械手臂主要是使用於人工無法進行或者是耗費較多人力時間的工作，機械手臂在精度與耐用性上可以減少許多人為問題[2]，然而機械手臂是屬於多輸入多輸出非線性動態系統[3]，因此混合控制器更適合傳統控制器在機械手臂上。

在工業中，PID 類型的控制技術仍然佔有主導地位[4]，眾多控制如溫度、流量、壓力等，基本上仍然是應用著 PID 類型的控制，但隨著未來技術應用領域寬廣，控制對象複雜，相應的控制技術越來越精巧，數學模型也更為複雜。

FUZZY 控制器能以語言規則的型式，實現輸入輸出非線性對應的關係，為什麼 FUZZY 在非線性時能優於 PID，主要在非線性增益調節的部分，僅僅運用語言規則就能達到任意近似精度條件下的函數逼近[5]。

本研究針對水平式機械手臂進行模擬，驗證實際加入 PID-FUZZY 混合控制後比較單獨的 PID、FUZZY 傳統控制器改善了在機械手臂上所無法克服的缺點。

### 2. 實驗方法

#### 2.1 手臂數學模型推導

本實驗機械手臂運動學的數學模型由順向運動學與逆向運動學推導出，其中  $P_x$  和  $P_y$  分別為目標點的 x 座標和 y 座標 L1 軸一長度 L2 軸二長度，而機械手臂方程式參考圖 1 可由式 (3.1)~(3.4) 表示

$$\begin{aligned} P_x &= L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ P_y &= L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned}
& P_x^2 + P_y^2 \\
&= [L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)]^2 \\
&+ [L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)]^2 \\
&= L_1^2 + L_2^2 + 2L_1L_2[\cos \theta_1 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\
&+ \sin \theta_1 \sin(\theta_1 + \theta_2)] \\
&= L_1^2 + L_2^2 + 2L_1L_2 \cos[\theta_1 - (\theta_1 + \theta_2)] \\
&= L_1^2 + L_2^2 + 2L_1L_2 \cos \theta_2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\cos \theta_2 &= \frac{P_x^2 + P_y^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2} \\
\Rightarrow \theta_2 &= \cos^{-1} \left( \frac{P_x^2 + P_y^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2} \right)
\end{aligned}$$

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) - \arctan\left(\frac{L_2 \sin \theta_2}{L_1 + L_2 \cos \theta_2}\right)$$

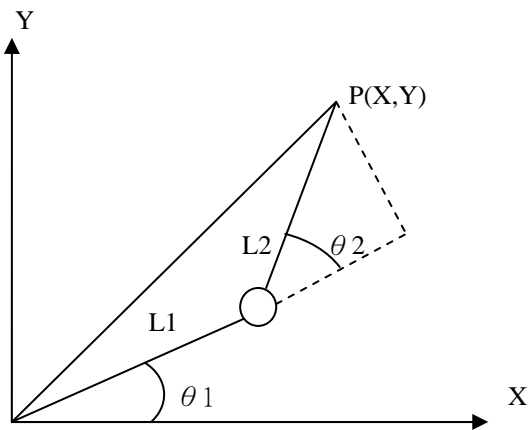


圖 1

## 2.2 PID 控制器

PID 控制器乃為傳統的比例控制 (Proportional)、積分控制 (Integral) 和微分控制 (Derivate) 組合而成的控制器。

P 比例 - 來控制現在，誤差值和一個正值的常數 p 相乘

I 積分 - 來控制過去，將誤差值過去一段時間和乘以一个正值的常數 I

D 微分 - 來控制將來，計算誤差的一階導數，並和一個正值的常數 D 相乘

由圖 2 PID 系統方塊圖導出與設計 PID 系統方程式

(3.2)

(3.3)

(3.4)

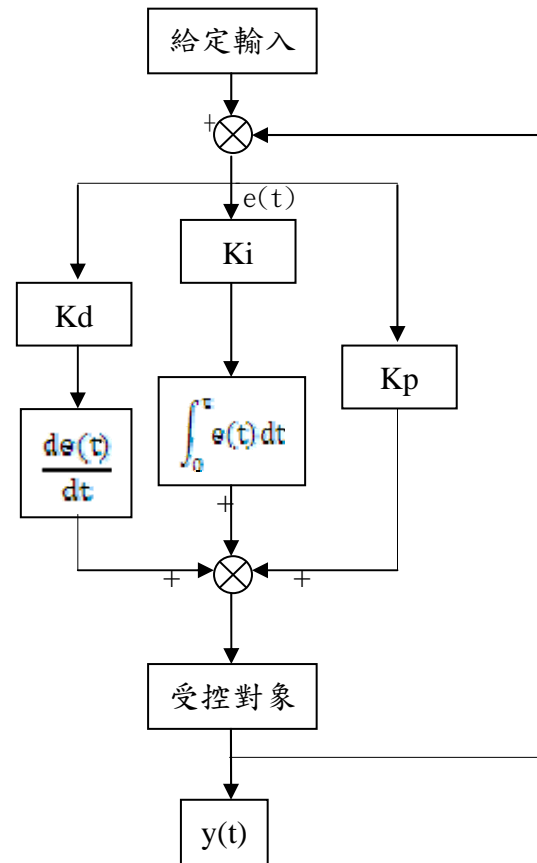


圖 2 PID 系統方塊圖

在連續系統下之公式為(3.5)

$$y(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad \text{####(3.5)}$$

## 2.3 FUZZY 控制器

本實驗模糊控制器經過五步驟而完成。

### 1. 定義輸入及輸出

在本實驗控制系統中，以誤差量 (e) 作為輸入語言變數，而以 (y) 為電壓輸出語言變數

## 2. 決定模糊化 (Fuzzification) 的語言

對於受控目標系統而言，由感測器所量測到的資訊通常需要明確的值，而本實驗 FUZZY 控制器是採用條件式規則控制通稱模糊理論。

其模糊語言大致可分為：NB (Negative Big)、NM (Negative Medium)、NS (Negative Small)、ZE (Zero)、PS (Positive Small)、PM (Positive Medium)、PB (Positive Big)。

## 3. 定義各種語言變數

為了能讓受控系統與模糊理論相結合，模糊化處理將是 FUZZY 控制器所需要的步驟。

而這些模糊集合可以採用的歸屬函數有很多種類，一般較常使用的有三角形歸屬函數 (Triangular Membership Function)、高斯歸屬函數 (Gaussian Membership Function) 和梯形歸屬函數 (Trapezoidal Membership Function)。

由於三角形歸屬函數具有較快的計算速度而且模糊化的效果與高斯函數相當，因此，本論文採用三角形的歸屬函數。

## 4. 設計控制規則庫

本論文 FUZZY 控制位置單位為弧度所以控制範圍在  $3.14 \sim -3.14$  之間，為達到省電設計所以將電壓控制範圍在  $+10V$  與  $-10V$  之間，設計定義模糊規則庫與五個模糊規則

表一 制定的 5 個模糊規則

1.	If e is NB and u is NB
2.	If e is NM and $\dot{e}$ is N then u is NM
3.	If e is ZE and $\dot{e}$ is ZE then u is ZE
4.	If e is PM and $\dot{e}$ is P then u is PM
5.	If e is PB then $\dot{e}$ is P then u is PB

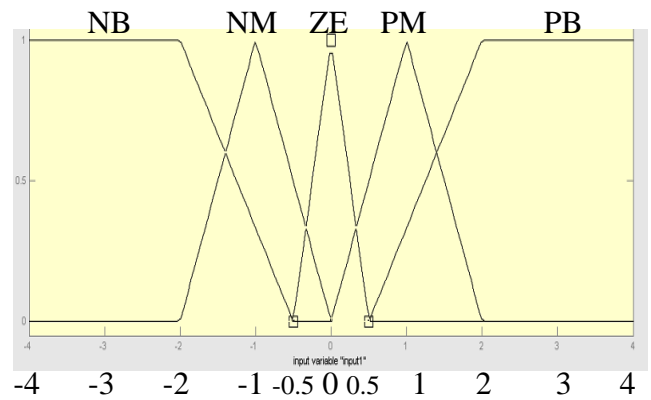


圖 3 位置誤差歸屬函數

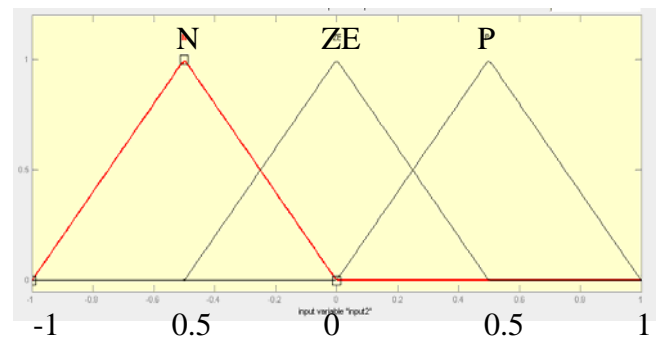


圖 4 速度誤差歸屬函數

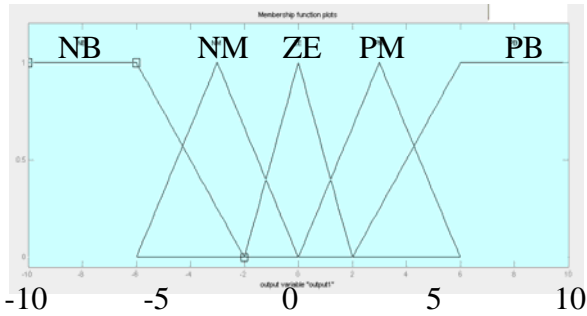


圖 5 輸出歸屬函數

### 5. 解模糊化 (Defuzzification)

經由模糊推論後所得的結果為一個模糊輸出量，一般的致動器只能接受明確值作為輸入；而解模糊化的目的，就是將模糊化的語言轉換成值得到的結果。

本實驗使用的是重心解模糊化法，規則所得的反應用積分求出面積與重心位置，其重心位置即為解模糊化後的表示數值。

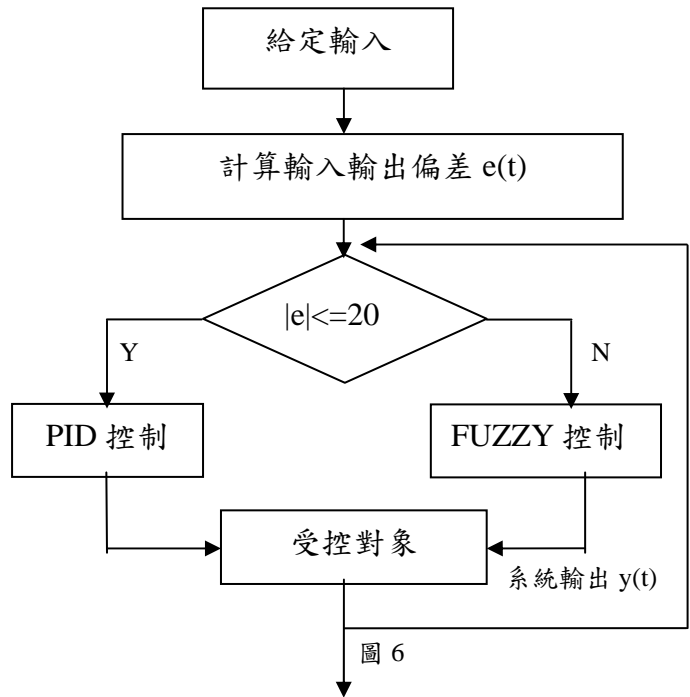
在非離散重心位置其公式如(3.6)

$$y^* = \frac{\int_Y \mu_c(y)y dy}{\int_Y \mu_c(y) dy} \quad (3.6)$$

### 2.4 PID-FUZZY 混合控制器

本論文經 PID 控制器的實驗結果 FUZZY 控制器的實驗結果發現在小於 20 度時，PID 控制器暫態響應較優於 FUZZY 控制器，因此設計了誤差 20 度以上時 FUZZY 控制，20 度以下時 PID 微調控制。

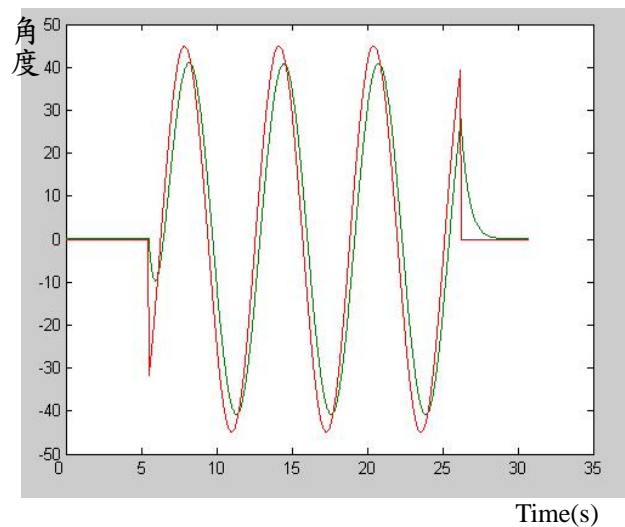
其設計方塊圖如圖 6



## 3. 實驗架構與結果

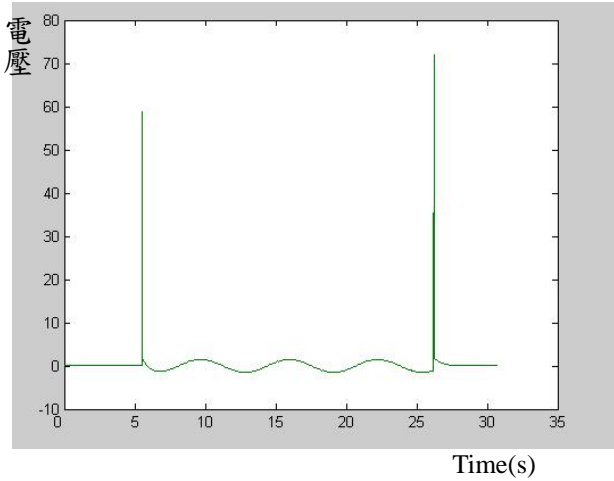
### 3.1 實驗架構

本系統使用桌上型電腦 Microsoft Windows XP 編寫 MATLAB 程式，再利用 Window Target 連接到控制卡 MRC-6810，接著傳授數位訊號給數位控制箱，然後轉換為類比訊號給兩軸水平式機械手臂，手臂上馬達編碼器偵測手臂運轉的脈波數後回授給程式，達成閉迴路控制系統。

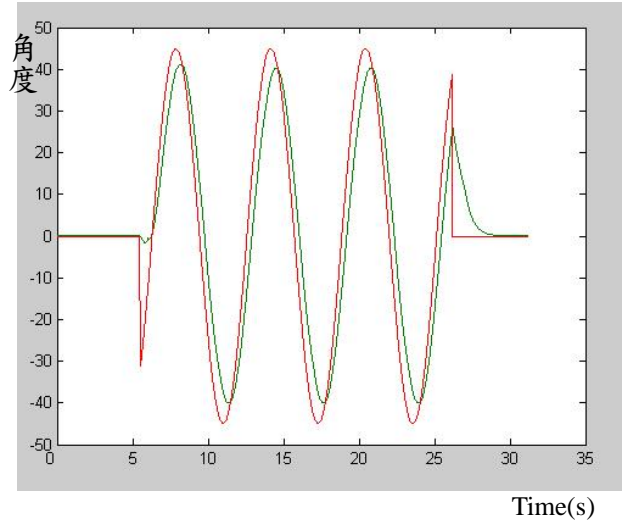


PID 軌跡追蹤圖

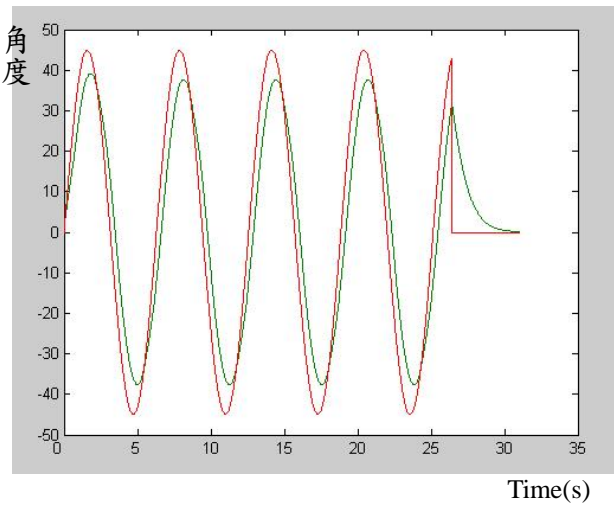
圖 7(a)



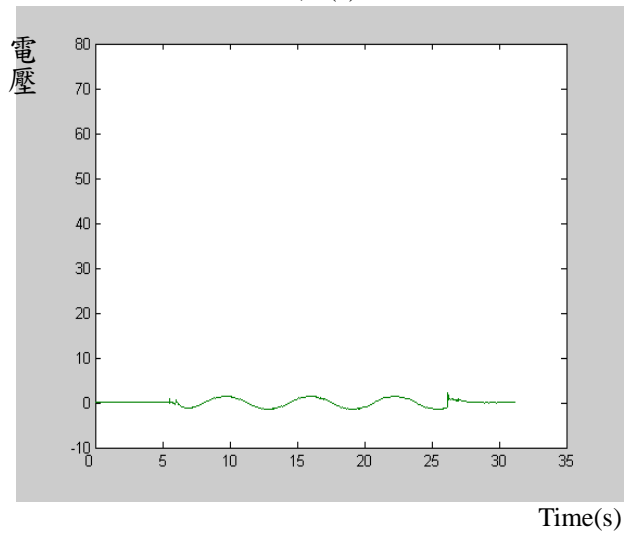
PID 電壓輸出圖  
圖 7(b)



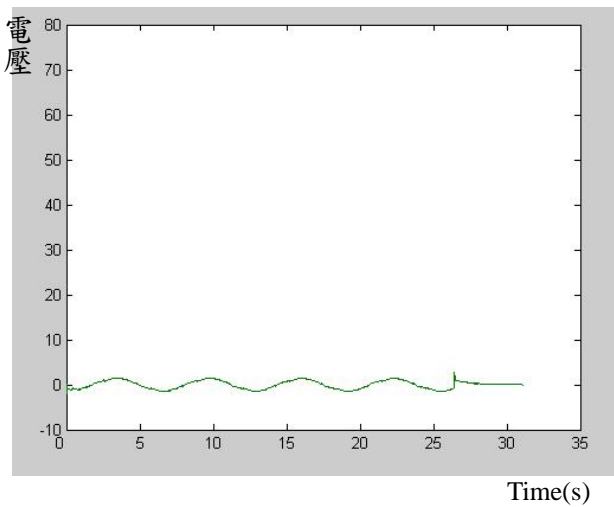
PID-FUZZY 軌跡追蹤圖  
圖 9(a)



FUZZY 軌跡追蹤圖  
圖 8(a)



PID-FUZZY 電壓輸出圖  
圖 9(b)



FUZZY 電壓輸出圖  
圖 8(b)

### 3.2 實驗結果

本實驗給定手臂輸入源為  $45\sin(t)$ ，取樣時間設定為 30 秒來做模擬，紅線代表命令軌跡綠線則是手臂實際運動路徑，圖 7 為 PID 控制、圖 8 為 FUZZY 控制、圖 9 為 PID-FUZZY 混合控制

由於機械手臂是非線性系統，所以只調變 P 和 D 的增益，控制器的 P 增益值增加，改善穩態誤差，卻破壞了穩定度，所以加入 D 控制器，來抑制過大的超越量，改善穩定度。在本實驗中 P 增益設定 3，D 增益設定 1

從實驗數據中，可以看出 PID 圖 7(a) 在軌跡追蹤中比 FUZZY 圖 8(a) 還精準，PID 的誤差值介於 5 度以內而 FUZZY 誤差值在 8 度左右，混合控制器位置追蹤圖 9(a) 因在誤差小於 20 度後切換 PID 控制，所以誤差值維持 5 度以內與 PID 差異不大，在電壓輸出圖中，PID 因命令誤差增大而造成圖 7(b) 輸出電壓會有

突然過大，而出現陡坡現象甚至高達 85V，然而在 FUZZY 輸出圖 8(b)可以很明顯看到電壓控制在上下 10V 內，維持穩定性，PID-FUZZY 混合控制器輸出圖 9(b)經過有效切換也能將電壓控制在上下 10V 之內，PID-FUZZY 混合控制器結合兩種控制器優點，達到軌跡誤差比 FUZZY 好，電壓又能控制在 10V 內。

#### 4. 結論

本論文完成 PID-FUZZY 混合控制器，誤差達到 20 度以上時 FUZZY 控制，20 度以下時 PID 微調控制，彌補 PID 無法克服電壓陡坡而產生耗電或電壓過大造成電器損毀的缺點且改正 FUZZY 精度不足的缺點，充分的發揮 PID-FUZZY 混合控制的優點。至於在未來可再編譯更多模糊規則或加入不一樣的控制理論，使控制器更加完美或推廣到自走車上機器人上諸如此類的應用。

#### 5. 參考文獻

- [1] Chen G. **Conventional and fuzzy PID controllers: An overview.** *Int. J. of Intelligent Control & Systems*, 1996
- [2] 周玉崇，**水平多關節機械手臂系統之研製**，台灣科技大學工程技術研究所碩士論文，1991。
- [3] 尤崎帆，**機械手臂運動誤差之分析與路徑規劃**，碩士論文，逢甲大學，機械工程學系碩士班，台中，台灣，2004
- [4] Ang, K.H. and Chong, G.C.Y. and Li, Y. (2005) PID control system analysis, design, and technology. *IEEE Transactions on Control Systems Technology* 13(4):pp. 559-576.
- [5] Wang L X. **Adaptive Fuzzy Systems and Control, Design and Stability Analysis.** New Jersey: PTR Prentice-Hall, 1994

#### Abstract

A PID-fuzzy hybrid controller is proposed in this paper. It is superior to pure PID controller or fuzzy controller.

PID controller's advantages: 1. simple structure, 2. stability, 3. easy to adjust. Its disadvantage is not easy to

write complex mathematical models and consumes too much power. On the hand, the fuzzy controller has the advantages: 1. requiring no mathematical model to achieve control purposes; 2. power cost is low. But the major shortcoming is that the tracking accuracy is not high. Robot manipulators are multiple inputs and multiple outputs nonlinear dynamic systems. How to add the PID control in nonlinear dynamic systems is the biggest challenge of this paper.

In this paper, the hybrid controller has achieved better accuracy than the fuzzy control and overcame the peaking phenomenon in PID controller. Therefore it combines advantages PID controller and FUZZY controller.