

模糊控制應用在 3D MIMO 非線性天車系統之研究

The Study of Fuzzy Control of 3D MIMO Nonlinear Crane System

陳億成¹

潘禹銓²

羅治同³

Chen Yi-cheng

Pan Yu-chuan

Lo Jyh-Torng

¹ 中華技術學院電機系副教授

² 中華技術學院電機系二技學生

³ 中華技術學院電機系講師

China Institute of Technology

摘 要

本論文主要的目的是在探討應用模糊控制理論(Fuzzy Control)來控制3D多輸入多輸出天車(3D Multi-Input-Multi-Output Crane, 3D MIMO Crane)之研究,並比較PID控制理論(Proportional-Integral-Differential Control)和模糊控制理論兩者之間的優缺點。分析過程係利用VisSim動態系統控制軟體,用以進行模糊控制法則及PID對3D天車即時模擬及驗證,由分析結果顯示3D天車於兩種不同控制法則在相同的情況下不管任何外力介入,依然可以使3D天車快速且平穩的到達設定的位址以及擺錘振幅的大小,但模糊控制法則不管於暫態或穩態控制下皆優於PID控制法則,此一結果可提供實際工業上應用時之參考。

關鍵詞：比例積分微分控制、模糊控制、3D 天車、VisSim

ABSTRACT

The main purpose of this paper is inquired into the application of fuzzy control for a 3D non-linear crane system. From the experimental results, we identify the margin of the PID control and fuzzy control theories which apply in this system. This research is used the software of VisSim® which like as developed tool for controller. First, a traditional PID control rule block[2] was built by VisSim, and use the on-line method to turn the parameters of PID controller to control the 3D non-linear crane system. Second, by use the

VisSim's function of real-time control and link by C++ language, that is, a fuzzy control program can be written by C++ language and instead of PID controller for this system. Due to the experimental results, we can compare the advantages and disadvantages of the PID control and fuzzy control, respectively.

Keywords: PID control, fuzzy control, 3D Crane, VisSim

I、前言

由於科技的日新月異以及工業的快速發展，促進工業上機電整合的趨勢，近年來，自動化高科技產業的迅速發展，造就許多高複雜性的耦合機構，此類機構常伴隨著高度非線性的情形產生，而 3D 天車就是高科技產業迅速發展下的產物之一。常見 3D 天車皆屬於多輸入多輸出的機構之高度非線性且不穩定的系統，加上控制目標位於不穩定點以致於控制系統不易設計的特性，正好描述了許多工業機電整合時經常遇到的問題。本研究主要是在分析 3D 天車這一個非線性機構的控制行為，由於控制實際天車相當的不容易，在於位置和角度的多變化性。所以研究中使用模糊控制的方法來控制天車，尤其利用模糊邏輯特性，在最後解模糊的過程中只需對位置角度的判斷，省略原本的大量累加，複雜除法過程，可以有效的減少困難度。所以本研究採用兩個處理方式，一為利用模糊理論，另一則利用知識庫(Knowledge Base) [5]。

模糊控制是近幾年來新崛起的一項控制理論，由於模糊控制它的理論簡單、設計容易、不用去推算艱深的數學公式、使得近年來模糊理論為廣泛的被應用在各個區域。模糊控制器都會面臨硬體實現的問題其中以下為幾種方法(a)以 VHDL 直接將模糊控制器描述成數位電路(b)以數位控制理論將模糊控制器以 DSP 晶片實現。而模糊理論也有一些應用在實體上的一些缺點如：(1)模糊規則的數量太多規則修改不易；(2)歸屬函數型態調整不便；(3)模糊規則的前後部分論域不好調整；(4)設計的時間非常長；(5)需要相關的專業知識。

本研究實際實驗測試之 3D 非線性天車系統架構如圖 1 所示，此機構係由 2 個伺服馬達驅動 3D 天車之平面移動系統，另有 1 個伺服馬達驅動撓性線材驅使擺錘上下移動，當擺錘平面擺動時，另有 2 組感測器回授其偏移量，另有 5 個數位開關控制作為端點開關；藉此，應用模糊控制理論來控制 3D 天車，來了解 3D 天車之動態行為，並與 PID 控制法則應用於 3D 天車相比較後，提供結果於實際 3D 天車應用時之參考。



圖 1. 3D 天車實驗之機構圖

II、理論架構

一、PID 理論：

比例-積分-微分(Proportional-Integral-Derivative,PID)PID 控制法則是藉由 K_p 、 K_i 、 K_d 的控制參數使得系統達到穩定。此 PID 控制器是屬於比較簡單的控制器，其中 K_p 代表比例常數、 K_d 代表積分常數、 K_i 代表微分常數，其優缺點為：

優點：不須受控系統的轉移函數、只需調整 K_p ， K_d ， K_i 即可改善系統之特性。

缺點：. K_p ， K_d ， K_i 數值不易調整[6]。

二、模糊理論介紹：

模糊理論源於美國卻盛行日本和中國大陸，尤其是日本經過多年的努力，並將模糊觀念應用於各企業層面。模糊控制是所有控制理論中最廣被傳頌的應用之一，他把人類的決策模式植入控制器，設計的過程使得設計一個控制系統不再依賴數學模型的推導。目前，許多電化產品都把模糊控制技術結合到內嵌式微控制器之中，除了使產品得使用更具人性化及個性化之外，更能提升產品的附加價值。

模糊邏輯是一個比傳統控制器更接近人類思考方式的系統一個典型的模糊系統如圖 1 具有四個主要的功能模組：

- (1)模糊化 (Fuzzyfier)：將所量測到的數值換成口語化的語詞如大中小 [經驗法則 2 所示] ；
- (2)知識庫/模糊控制法則(Fuzzy Control Rule Base)：記錄專家的經驗及知識所建立出的控制法則及歸屬函數的定義；
- (3)模糊推論機(Fuzzy Inference Engine)：依據控制法則作適當的模糊推論[7]；
- (4)解模糊化(Defuzzifier)：將語言變數轉換成實際的輸出數值，相對於模糊化的動作 [8] 。

三、3D 天車模糊理論的設計：

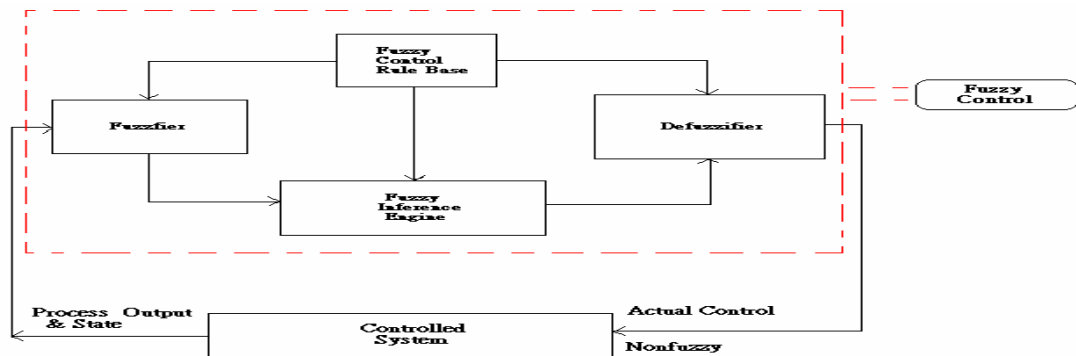


圖 2. 模糊理論的概念圖

- (一).歸屬函數的定義:於本研究中，設計了 3 個模擬歸屬函數，分別是天車擺動角度值(θ)，天車位置值(L)，天車移動之伺服馬達輸出值(V)，其實驗方式如圖 3 至圖 5 顯示出其中移動天車之伺服馬達輸出及控制天車之位置，但其加減速將會影響天車擺動之角度量。

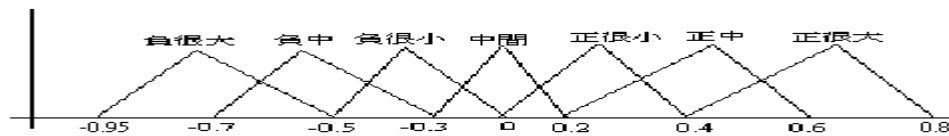


圖 3. 天車擺動角度值(θ)

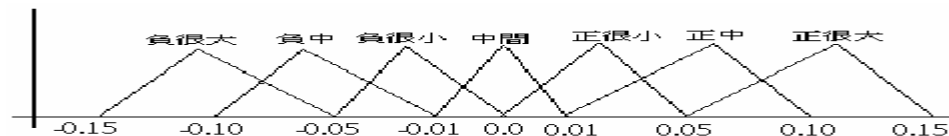


圖 4. 天車位置值(L)

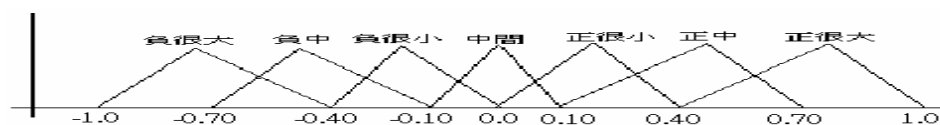


圖 5. 天車馬達輸出值(V)

(二).經驗法則:3D 天車研究中，主要應用於 3D 天車之位置及天車擺動角度量，其中天車之位置移動及天車擺動角度量主要由伺服馬達所控制，以下列舉本研究之經驗法則

1. 天車位置：

- (1)在位置負很大的時候，則快速移動天車到達正的那一邊。
- (2)在位置負中的時候，則普通速度移動天車到達正的那一邊。
- (3)在位置負小的時候，則慢速移動天車到達正的那一邊。
- (4)在位置正很大的時候，則快速移動天車到達負的那一邊。
- (5)在位置正中的時候，則普通速度移動天車到達負的那一邊。
- (6)在位置正小的時候，則慢速移動天車到達負的那一邊。

2. 天車擺動角度大小：

- (1)在角度負很大的時候，則快速移動天車到達正的那一邊。
- (2)在角度負中的時候，則普通速度移動天車到達正的那一邊。
- (3)在角度負小的時候，則慢速移動天車到達正的那一邊。
- (4)在角度正很大的時候，則快速移動天車到達負的那一邊。
- (5)在角度正中的時候，則普通速度移動天車到達負的那一邊。
- (6)在角度正小的時候，則慢速移動天車到達負的那一邊。

(三). 模糊規則庫語法：

針對本研究依擺錘角度(θ)及天車距離(L)所設計的兩個模糊規則表如下所示：

表一擺錘角度(θ)的模糊規則庫模糊語法

$\theta/d\theta$	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
PS	NM	ZE	ZE	PS	PM	PB	PB
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM

NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE

表二天車距離(L)的模糊規則庫模糊語法

L/dL	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
PS	NM	ZE	ZE	PS	PM	PB	PB
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE

(四). 3D MIMO Crane 執行流程圖：

天車的操作主要是由 PC 發出訊號，訊號傳送到 AD/DA 卡，接著由 AD/DA 卡將訊號傳送到直流伺服擴大器，再由直流伺服擴大器將訊息再傳送到天車的馬達使其驅動，在驅動的同時天車上的 Encoder 也會傳送訊號經由 AD/DA 卡傳回 PC，並利用 PC 顯示出天車機構在執行過程中的各項情況（如圖 6）。

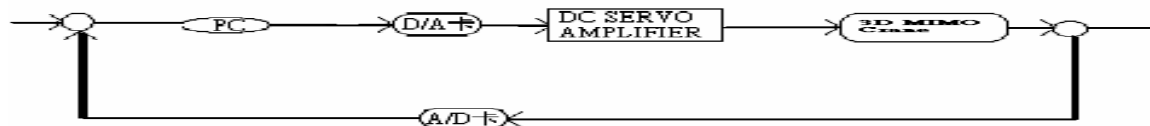


圖 6. 3D MIMO Crane 執行流程圖

III、實驗結果與分析

一、實驗方法

本次試驗控制 3D 天車方法分成兩階段進行，第一階段主要設計 PID 控制器來控制 3D 天車能夠達到快速平穩的控制台車和擺錘，第二階段則設計模糊控制器來控制 3D 天車，且分析最後兩個不同的控制系統下的執行結果。

(1) 第一階段實驗

利用 VisSim 內建的物件設計出一個 PID 控制設計圖（如圖 7），在依序調整

K_p 、 K_i 、 K_d 的值，把其調整的結果顯示出波形，並記錄起來。

(2) 第二階段實驗

利用 Visual 內建 C++ 語法輸入，建出一個配合 VisSim 做出一個模糊控制系統（如圖 8），在把其結果顯示出波形，並記錄起來，在比較 PID 控制與 Fuzzy 控制兩不同控制系統的差異性。

(二)、測試結果分析

在第一階段 PID 控制方法下，在 K_p 、 K_i 、 K_d 調整調整為 20、4、1 的情況下（如圖 7），由圖 9 顯示出擺錘在台車移動中所產生的擺幅及圖 10 顯示出台車與所設定的目的地在執行過程中所產生的距離誤差量，3D 天車於 PID 控制器下，起動時擺錘的擺幅很大時，要到達台車快速到達目的地且擺錘穩定的時間也相對加長。

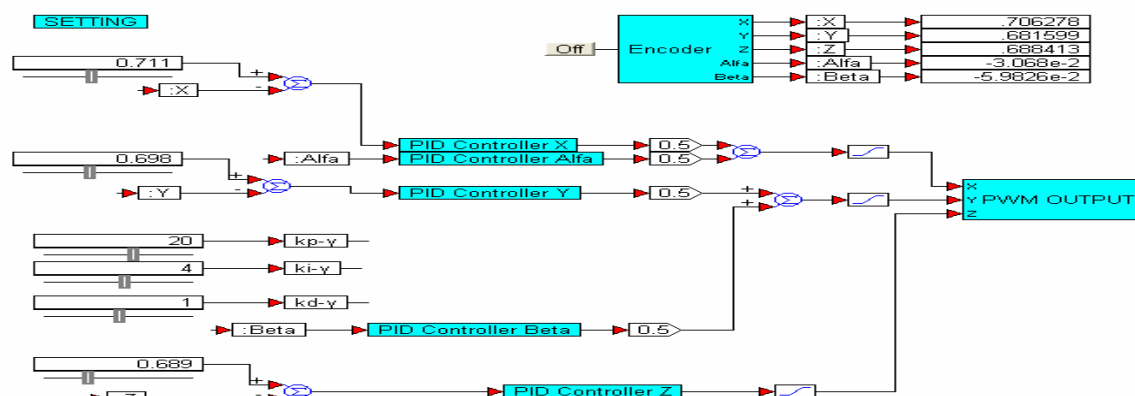


圖 7. 3D 天車 VisSim 設計圖(PID)

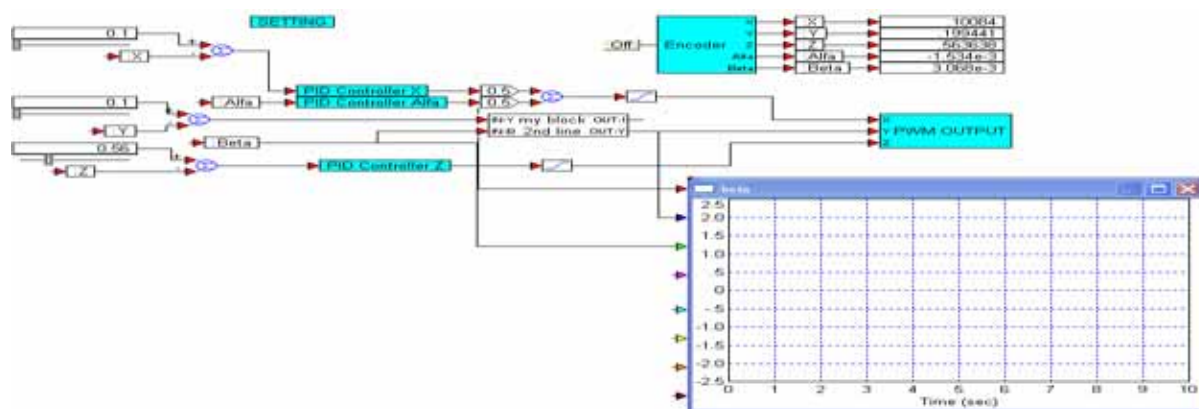


圖 8. 3D 天車 VisSim 設計圖(FUZZY)

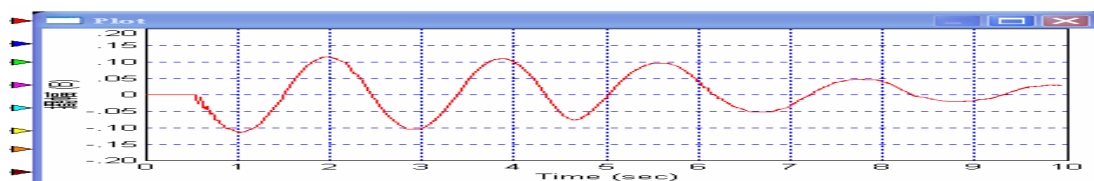


圖 9. 3D 天車 PID 的擺幅圖(β)

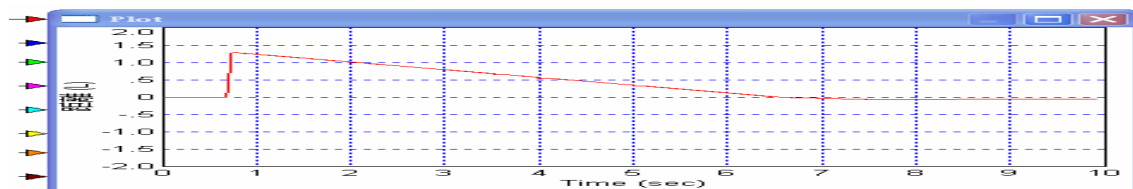


圖 10. 3D 天車 PID 的位置圖(L)

在第二階段 Fuzzy 控制下，內建 C++ 語法輸入，建出一個配合 VisSim 做出一個模糊控制系統如圖 8 所示，而圖 11 顯示出擺錘在移動中所產生的擺幅，圖 12 則顯示擺錘與所設定的目的地在執行過程中所產生的距離誤差量，由此顯示 3D 天車經模糊控制器下物體較 PID 控制器之 3D 天車能穩定、快速地到設定位置。

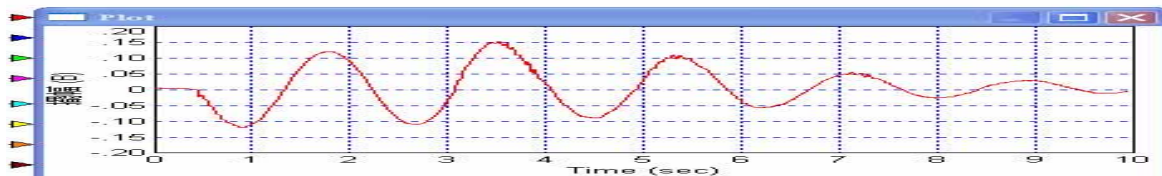


圖 11 3D 天車 FUZZY 的擺幅圖(β)

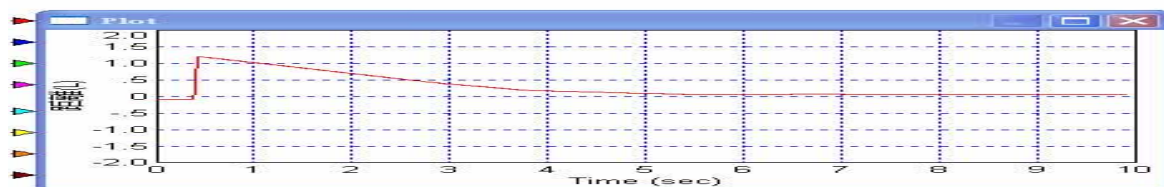


圖 12 3D 天車 FUZZY 的位置圖(L)

第三階段我們將 PID 控制所控制出的結果（如圖 13）與 Fuzz 控制的控制結果

互相比較（如圖 14），接著再將 Fuzzy 控制的顯示結果（如圖 15）與 PID 控制的顯示結果（如圖 16）放大，其內容代表為“天車馬達所輸出的電壓值”；“台車與所設定的目的地在執行過程中所產生的距離誤差量”；“擺錘在台車移動中所產生的擺幅”；而我們從圖（如圖 15、16）兩圖中可以看出兩控制系統起始時間皆為 0.5 秒開始，天車內部馬達所輸出的電壓值最大為 1V，在情況相同控制系統不同下，由 Fuzzy 控制下擺錘的擺幅比較小，因此可以由圖看出（如圖 15）在 Fuzzy 控制下在 3 秒的時候台車距離目的地地址的誤差值只差 0.4(m/sec)；但是由 PID 的控制下擺錘的擺幅比較小，因此可以由圖看出（如圖 16）在 PID 控制下在 3 秒的時候台車距離目的地地址的誤差值還差 0.5(m/sec)；而且在 Fuzzy 控制系統控制下的 3D 天車系統在 6 秒的時間系統就已經完全平衡穩定下來了，但是在 PID 控制系統控制下的 3D 天車系統則需在 6 秒多的時間系統才可以達到完全平衡穩定下來的情況，因此 Fuzzy 控制系統是可以讓 3D 天車這機構以最快速最平穩的方式達到漂亮的穩定結果到達目的地，擺錘擺幅也很小。

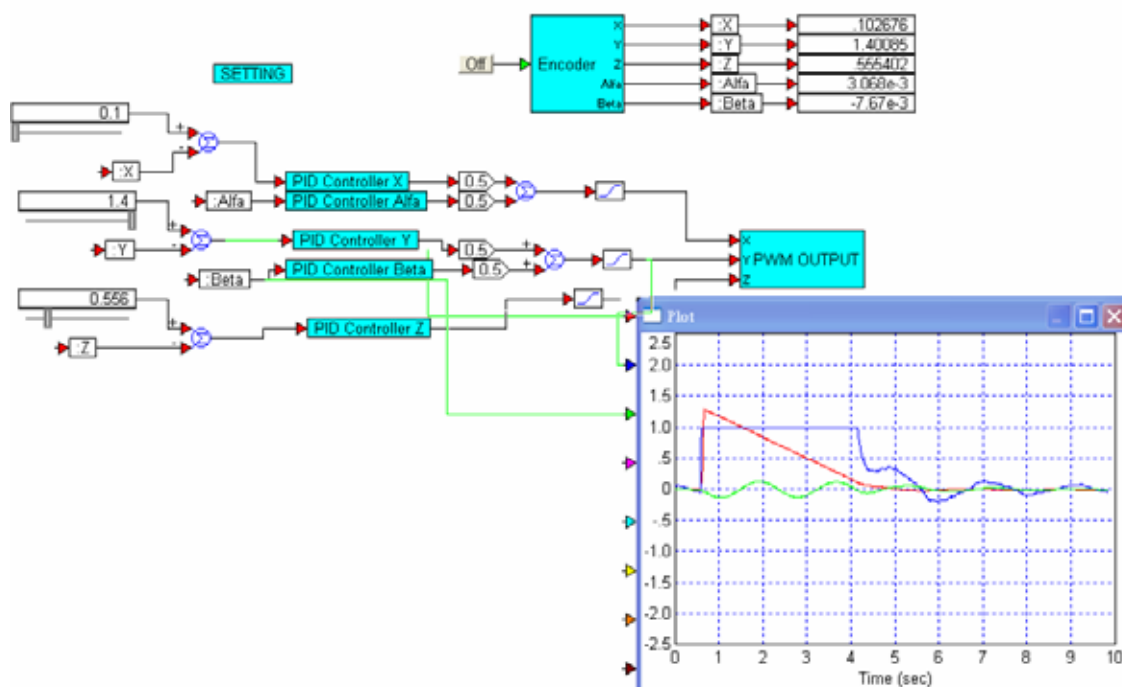


圖 13 3D 天車 PID 控制執行迴路圖

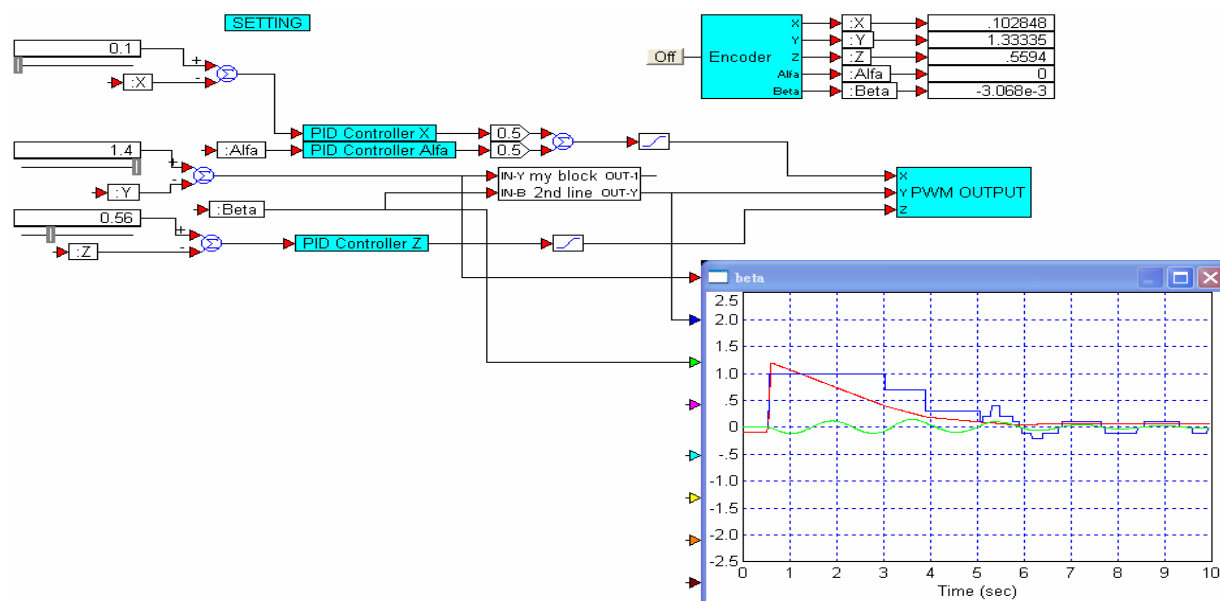


圖 14 3D 天車 Fuzzy 控制執行迴路圖

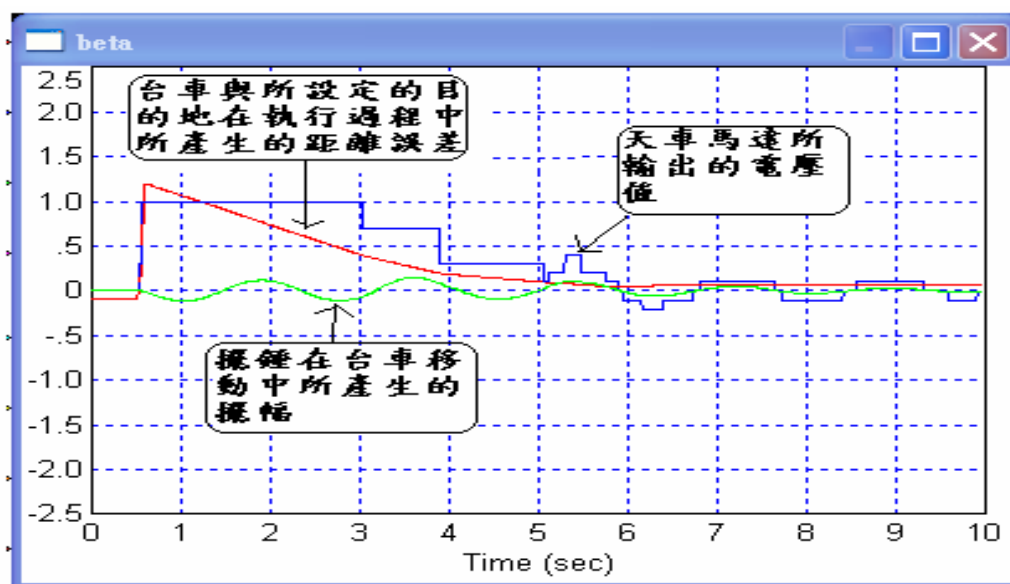


圖 15 3D 天車 FUZZY 的執行結果分析圖

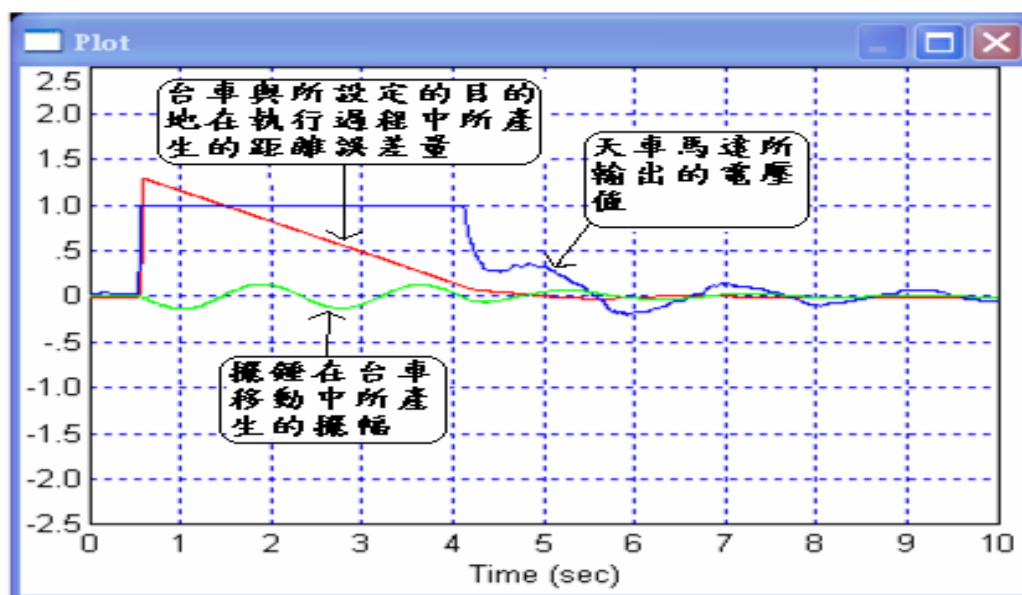


圖 16 3D 天車 PID 的執行結果分析圖

四、結論

3D 天車機構屬於 3D 多輸出多輸入的受控系統，除了要注意機構內建的極限限制有速度上的控制限制還有移動上的控制限制，還要考慮擺錘的大小、重量、並且需以移動速度的快慢搭配擺錘在移動中擺幅的大小，控制在移動速度最快的情形下擺錘的擺幅也能在最平穩的情況下動作；所以使用 PID 控制與 Fuzzy 控制對 3D 天車在相同情況下，兩種不相同的控制系統所呈現出的成果及效率，從執行結果中顯示 PID 控制與 Fuzzy 控制雖然都能平穩的控制 3D 天車，但是在相同的情況下，Fuzzy 控制能比 PID 控制能又快又穩的到達所設定的目標，而且擺錘擺幅的穩定度也是以 Fuzzy 控制比較穩定，有此可知以這兩種控制系統來操控 3D 天車而言，Fuzzy 系統比 PID 系統來的要好且方便許多，此一結果也提供實際工業上應用時之參考。

參考文獻

- [1] 林志一，張嘉峰，揚政達，曾龍圖，"VisSim 動態系統模擬與及時控制" 台科

大圖書股份有限公司.

- [2] 薛永隆, “ 以一個倒三角系統為例的多變數比例積分微分控制 ” 國立雲林科技大學電機工程技術研究所碩士論文, 1998 年六月
- [3] 諸葛明, “ C++真經 ”, 儒林圖書公司.
- [4] 位元文化, “ Visual C++ ”, 文魁資訊股份有限公司.
- [5] 研究生:顏聰德, 教授:黃朝章, “ 一個模糊自我組織控制器之設計 ” 私立元智學院電機與資訊工程研究所碩士論文, 1995 年六月
- [6] 王振興, 江昭暄, 陳世昌, 黃漢邦, “ 自動控制系統 ” 東華書局.
- [7] 王欽羸, “ FUZZY 工學 ” 全華科技圖書公司.
- [8] 楊英魁博士, “ FUZZY 控制 ”, 全華科技圖書公司.