

以 FPGA 為基礎之全向輪機器人控制

杜尚儒

中國文化大學機械工程學
系數位機電碩士班研究生
e-mail :
st8615006@yahoo.com.tw

蘇國和

中國文化大學機械工程學
系數位機電碩士班副教授
e-mail :
sgh@faculty.pccu.edu.tw

摘要

本論文旨在探討以模糊方法控制全向輪機器人的行動，並將此方法植入現場可規劃邏輯陣列(FPGA)中，作為控制電路的主要硬體核心元件。研究過程中，先設計一智慧型馬達位置伺服控制器，此架構是利用模糊原理，設計模糊規則庫及歸屬函數，啟動模糊推理引擎來克服系統的非線性與擾動，以有效提升伺服系統的精度與穩定性。然後，將上述演算法則轉換成 VHDL 語言，用以規劃 FPGA，再將 FPGA 控制板與機器人結合，將 FPGA 板產生的控制信號加入全向輪機器人的三顆馬達，並回讀位置誤差。為驗證此法則之有效性，研究中也比較了 PD 控制法則所得的不同結果。

關鍵詞：現場可規劃邏輯陣列、全向輪機器人、模糊控制、PD 控制

Abstract

The design and implementation of a fuzzy control system for omnidirectional-wheeled-robot are addressed in this study. The field-programmable-gate-array (FPGA) is the main device of the controller board and it is embedded into the fuzzy control algorithm. An intelligent position servo controller, in which the fuzzy rules, membership function and inference engine are utilized, is designed initially. Moreover, the fuzzy algorithm is transferred into VHDL language to program to program the FPGA device. Then the combination of FPGA board and robot is carried on and the generated signals from FPGA are sent to the motors of robot. In addition, the results of conventional PD control are provided to verify

the effectiveness of the proposed control strategy.

Keywords: FPGA; Omnidirectional wheeled-robot; Fuzzy control; PD control

1. 前言

近年來因為科技產業蓬勃發展，許多電子科技產業也不斷推陳出新，科技也不斷在進步，其中就以 IC 設計的業者來說，為了降低成本，提高利潤，而必須使用更低成本的設備來驗證自行研發的設計，再加上目前積體電路盛行，而為了快速簡單的開發雛形品，使得 FPGA 就常拿來作為驗證 IC 設計的工具，又可以利用 FPGA 來做小規模的量產，也因此 FPGA 也亦趨重要。

而在控制方法上面，一般業界大多使用 PD 或 PID 的控制方式，來作為系統的閉迴路控制，但是 PD 或 PID 控制較沒有彈性，因此可以選擇採用模糊的控制來實現。而本文亦證明採用 PD 控制法則與採用模糊控制法則兩者間的差異。

2. 硬體架構

本文使用的設備有 FPGA based 的發展板如圖(一)所示、全向輪機器人如圖(二)所示。



圖(一) FPGA based 發展板



圖(二) 全向輪機器人

進而將 FPGA 板架設在全向輪機器人上如圖(三)所示。而我們所使用的 FPGA based 發展板相當彈性化，可依使用者的需求，更換不同廠商的 FPGA 晶片，如 Altera、Xilinx 等，此發展板亦提供了擴充區塊(Expansion Area)，可以讓我們自行設計電路加以應用，而我們也是利用此區塊來達到我們所定的規格要求。



圖(三) FPGA 與全向輪機器人的組合

此 FPGA 發展板，可分為兩個部分，第一個部分為 Cyclone FPGA 基板，另一部分為 I/O 擴充板。首先說明 Cyclone FPGA 基板，它為新一代的 Altera FPGA 晶片，具高效能、低功率以及低成本的特色，另外它也有 Bus-Switch 電壓保護、彈性的晶片時脈規劃、AS Mode 以及 JTAG Mode 燒錄，並具有 EPROM 來儲存資料。除此之外，亦可以藉由 DC 5 伏特的電源，直接驅動 Cyclone FPGA 基板。

I/O 擴充板的部分則有十項功能模組：字幕型 LCD 顯示模組、鍵盤掃描控制模組、步進馬達控制模組、VGA 顯示控制模組、七段顯示器控制模組、8 乘 8 點矩陣控制模組、繼電器控制模組、8951 單晶片控制模組、電話顯示

解碼(DTMF)模組、控制模式設定/測試腳位以及按鍵開關等十項功能。

至於全向輪機器人它具有全向輪及超音波感測的功能，原先使用高階程式語言來寫，但是因為要使它功能較為優越，發揮更大的效能，因此，本研究使用 FPGA 板來取代原來的簡易型控制基板，研究過程中，使用 VHDL 語言，來實現模糊規則庫的控制法則，進而達到避障及其它的功能。

3. 控制法則

本文提出的控制法則為模糊控制法，首先利用模糊推理與滑動模式來建構模糊控制器，緊接著，使用 Matlab 來模擬控制器的輸出響應，最後，將這些模糊控制法則，利用 VHDL 語言寫入 FPGA 元件中。另外，為與其他傳統方法做比較，文中亦以 PD 控制法則來實現機器人的控制。

在使用模糊控制時，我們所給定的輸入歸屬函數如圖(四)所示，輸出的歸屬函數則如圖(五)所示，模糊規則庫則包括下列三條模糊規則：

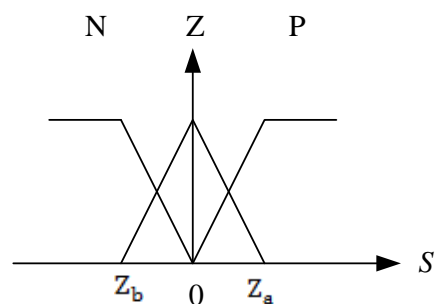
Rule 1 : If S is P, then U is DU.

Rule 2 : If S is Z, then U is NU.

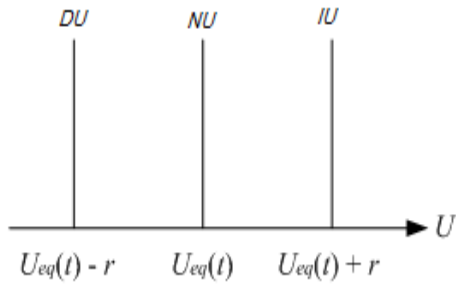
Rule 3 : If S is N, then U is IU.

其中前件部變數 S 稱為滑動面，它是由誤差及其微分組合而成，而 U_{EFSMC} 稱為輸出控制量。

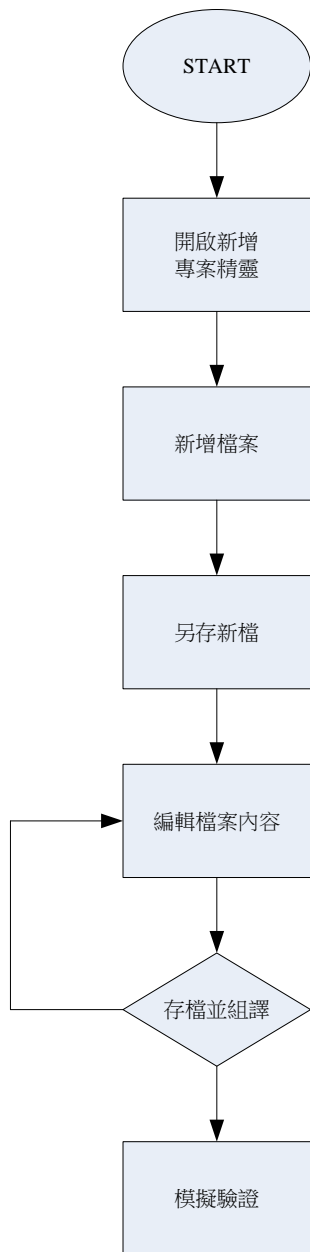
經過模糊推理及解模糊化之後，會得到一個輸出的控制量。接下來在 FPGA 內，利用 VHDL 語言或繪製電路圖的方式，來實現上述的電路功能，達成規格的要求，FPGA 的設計流程圖如圖(六)所示。



圖(四) 輸入歸屬函數



(五) 輸出歸屬函數



圖(六) FPGA 設計流程圖

令 $Z_a=2, Z_b=-2$ 建構上述三條模糊規則之 VHDL 程式片段如下所示：

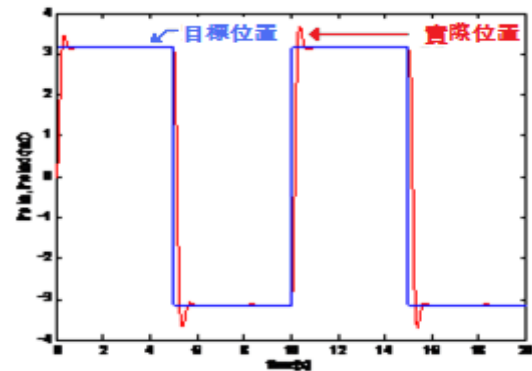
```

if S>'2' then
    w1<=1;
    w2<=0;
    w3<=0;
    U<=ueq-3*(w1-w3);
elseif S<'2' and S>'0' then
    w1<=(1/2)*S;
    w2<=(2-S)/2;
    w3<=0;
    U<=ueq-3*(w1-w3);
elseif S<'0' and S>'-2' then
    w1<=0;
    w2<=(2+S)/2;
    w3<=-1/2*S;
    U<=ueq-3*(w1-w3);
else S<'-2' then
    w1<=0;
    w2<=0;
    w3<=1;
    U<=ueq-3*(w1-w3);
end

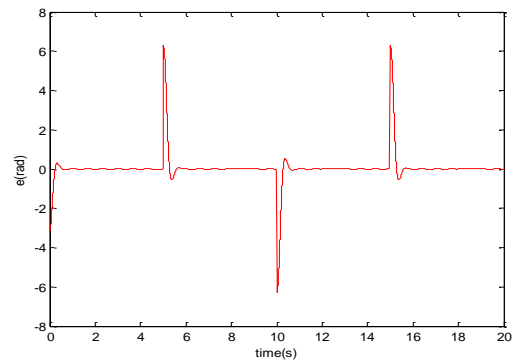
```

4. 模擬結果

首先在無負載情形下，使用模糊法則所模擬出來的結果如圖(七)所示，圖(七)(a)為追一個

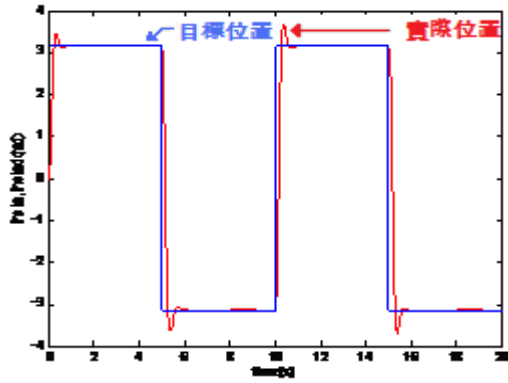


(a) 目標與實際位置

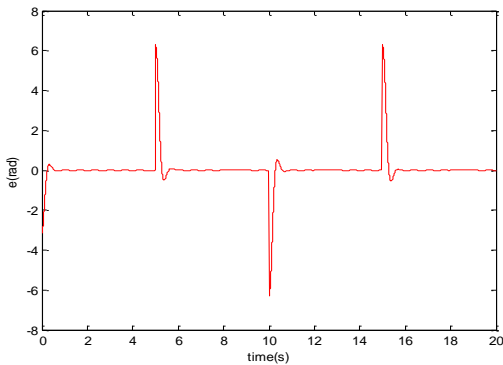


(b) 誤差

圖(七)無負載之 Fuzzy 控制響應圖(方波)

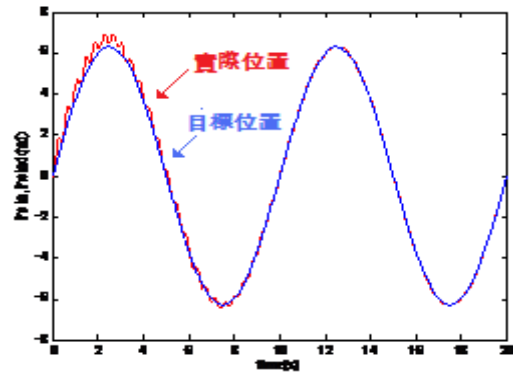


(a) 目標與實際位置

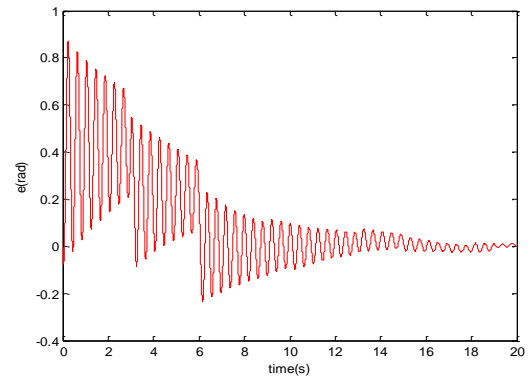


(b) 誤差

圖(八) 有負載之 Fuzzy 控制響應圖(方波)

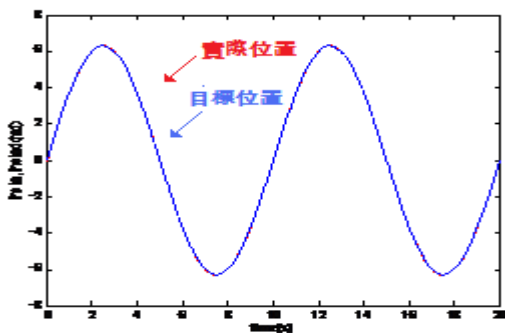


(a) 目標與實際位置

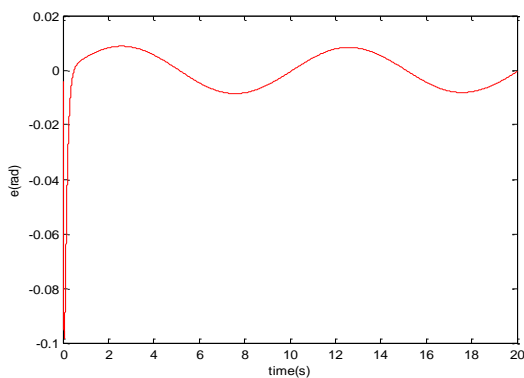


(b) 誤差

圖(十) 有負載之 Fuzzy 控制響應(正弦波)

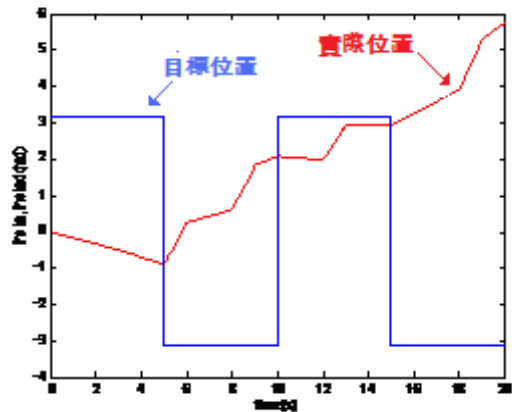


(a) 目標與實際位置



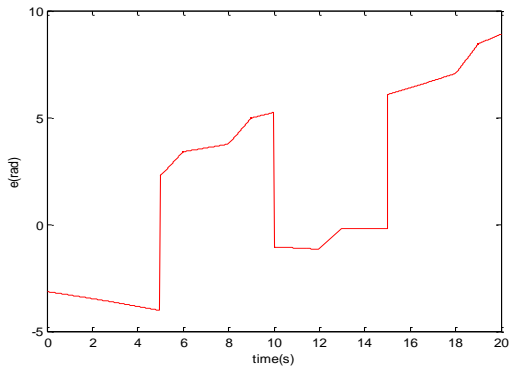
(b) 誤差

圖(九) 無負載之 Fuzzy 控制響應圖(正弦波)



(a) 目標與實際位置

週期 10 秒，振幅為 π 的一個方波，所得到的目標與實際位置圖，圖(七)(b)則為誤差量。接著加入負載可獲得一目標與實際的控制響應，同樣是以模糊控制的法則來實現，如圖(八)所示，其中圖(八)(b)為誤差量。接著在無負載情形下，使用模糊法則追蹤另一目標信號，模擬出來的結果如圖(九)所示，圖(九)(a)為追蹤 $2\pi \sin \omega t$ 的正弦波訊號，所得到的目標與實際位置圖，而圖(九)(b)則為誤差量：接著加入負載，再重做一次，可獲得如圖(十)的響應圖，其中圖(十)(b)為誤差量。



(b) 誤差

圖(十一) 無負載之 PD 控制響應圖(方波)

為突顯模糊法則之優點，改使用 PD 控制法則，重複做上面做過的實驗，得到如圖(十一)(a)所示的模擬結果及圖(十一)(b)的誤差量。

5. 結論

經過模擬的結果可以看出，使用 Fuzzy 控制法則遠比使用 PD 控制法則，結果較為優良，因此在未來要實現全向輪機器人的控制時，將採用 Fuzzy 的控制法則來控制它，達到我們所要結果。

附錄

1. 下列程式碼為除 64 之除頻器的 VHDL 片段

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.std_logic_unsigned.all;
```

```
entity clk_div_1_64 is
port(
clk_in:in std_logic;
clk_out1:out std_logic;
clk_out2:out std_logic
);
end clk_div_1_64;
```

```
architecture a of clk_div_1_64 is
```

```
signal cnt:std_logic_vector(20 downto 0);
signal reset:std_logic;
begin
```

```
process (clk_in)
begin
if reset='1' then
cnt<="0000000000000000000000";
elsif clk_in'event and clk_in='1' then
cnt<=cnt+1;
end if;
```

```
end process;
```

```
reset<='1' when cnt=10000000 else '0';
clk_out1<=(20);
clk_out2<=(14);
```

```
end a;
```

2. 下列為讀取超音波感測器及 PWM 輸出之 VHDL 程式

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.std_logic_arith.all;
use ieee.std_logic_unsigned.all;
```

```
entity pwm is
```

```
port(
clk :in std_logic;
A :in std_logic_vector(3 downto 0);
c :in std_logic;
pwm:out std_logic
);
end pwm;
```

```
architecture a of pwm is
```

```
begin
count<='4';
process (clk)
begin
if A="0000" then
pwm<=pwm;
else
pwm<='0';
end if;
```

```
count<=count-1;
if count='0' then
count<='4';
pwm<= not pwm;
else
pwm<=pwm;
end if;
```

```
end process;
```

參考文獻

- [1] CPLD/FPGA 數位電路設計 Cyclone 數位邏輯研發平台，華亨科技有限公司。系統晶片設計 使用 Quartus II (修訂版)，廖裕評、陸瑞強編著，全華科技圖書股份有限公司。
- [2] Rong-Jong Wai and Kuo-Ho Su, "Adaptive enhanced fuzzy sliding-mode control for electrical servo drive," *IEEE*

Transactions on Industrial Electronics,
Vol. 53, No. 2, pp. 569-580, April 2006.

- [3] 李乾耀¹、劉燕忠¹、林紀穎²，“以 FPGA 為基礎之嵌入式數位控制器實現”，¹國立台灣科技大學機械工程系研究生、²國立台灣科技大學機械工程系助理教授，國科會計畫編號：NSC97-2218-E-011-015。
- [4] 系統晶片設計 使用 Quartus II (修訂版)，廖裕評、陸瑞強編著，全華科技圖書股份有限公司。
- [5] 許勝程，“FPGA-Based 控制器之發展”，大葉大學電機工程系研究所碩士論文，90年6月。
- [6] 侯惠傑，“機器人之避障路徑規劃與 FPGA 實現”，淡江大學電機工程學系碩士班碩士論文，90年6月。
- [7] 陳耀南，“以 FPGA 為基礎之感應馬達無量測器向量控制晶片研製”，台灣科技大學電機工程系研究所碩士論文，93年6月。簡江儒，“以 FPGA 模糊控制器設計的直流馬達定位控制系統”，大葉大學電子工程學系碩士論文，94年6月。
- [8] 簡江儒，“以 FPGA 模糊控制器設計的直流馬達定位控制系統”，大葉大學電子工程學系碩士論文，94年6月。