

# 基因演算法對工具機軌跡交叉耦合預補償控制法參數之最佳化

學生：陳蔚強

指導教授：秦繼華

國立交通大學工學院精密與自動化工程學程碩士班

## 摘 要

在本論文中，使用基因演算法作為工具，去找出數控機械雙軸向刀具輪廓控制法中的最佳的增益值，以往通常採用試誤法去處理類似問題，但當控制系統變大且複雜時，這種方式會變得困難又無效率。

數控機械刀具輪廓控制法，包括傳統循跡系統--未耦合單軸向軌跡控制法(US)，交叉耦合雙軸向控制法(CCS)，及交叉耦合雙軸向預補償控制法(CCPM)，本論文將基因演算法應用在前述系列控制法中，成功的獲得系統最佳增益值，可證明基因演算法對動態系統增益值的規畫應用是有參考價值的。

# **Optimization of Parameters for CNC Machine Tracking Control with Cross-coupled Pre-compensation Method Using Genetic Algorithm**

**Student : Wei-Chang Chen**

**Advisor : Dr. Jih-Hua Chin**

**Automation and Precision Engineering  
National Chiao Tung University**

## **ABSTRACT**

Genetic algorithm is used as a tool to find the optimal gains for contour control of biaxial CNC machine tools in this work. In the past, this was usually done by trial and error, which became difficult and inefficient when the system became large and complicated.

The addressed contour control schemes for CNC machine tools include conventional tracking system (Uncoupled system, US) , Cross-coupled biaxial control (CCS), and Cross-coupled pre-compensation control (CCPM ). The successful implementation of genetic algorithm in sequential determination of system gains for the addressed control schemes showed that the genetic algorithm is applicable to the dynamic system in a manner of system gains configuration.

## 誌 謝

本論文得以完成，特別感謝指導教授秦繼華博士，在這段時間耐心的指引研究方向及題目資料的建立，鄭淵明學長無私地協助理論架構及模擬程式的建立，陳昱丞學長基因程式模組的的指點幫助，學校同事長官慷慨相助，也感謝我的妻子為家庭及子女的付出，能讓我心無旁騖地完成此篇論文，沒有他們，我不可能完成此一工作。

最後誠摯地感謝所有幫助過我的人。



# 目錄

	頁次
中文摘要 .....	i
英文摘要 .....	ii
誌謝 .....	iii
目錄 .....	iv
表目錄 .....	vi
圖目錄 .....	viii
符號說明 .....	x
第一章 緒論 .....	01
1.1 問題背景與文獻回顧.....	01
1.2 論文內容概要.....	02
第二章 CNC 工具機軌跡控制法特性分析 .....	03
2.1 未耦合單軸輪廓軌跡控制法.....	03
2.2 交叉耦合雙軸向控制法分析.....	04
2.3 雙軸向交叉耦合預補償控制法 .....	08
第三章 基因演算法.....	12
3.1 基因演算法則.....	12
3.2 基因演算法原理.....	12
3.3 利用基因演算法求得控制系統最佳增益值.....	19
3.4 定義設計變數目標函數與適存度函數.....	19
3.5 增益值的搜尋.....	20
3.5.1 單一參數逐一搜尋.....	20
3.5.2 多個參數同時搜尋.....	21
第四章 軌跡規畫與模擬.....	22
4.1 雙軸交叉耦合預補償法(CCPM)加工規劃模擬推導.....	22
4.2 模擬架構.....	23
4.3 尋求最佳增益值.....	23

4.4	軌跡模擬一.....	23
4.4.1	直線 US 控制法.....	23
4.4.2	直線 CCS 控制法 .....	27
4.4.3	直線 PM 控制法.....	30
4.4.4	直線 CCPM(1)控制法 .....	33
4.5	軌跡模擬二.....	36
4.5.1	直線 CCPM(2)控制法 .....	36
4.5.2	圓弧 CCPM(2)控制法 .....	40
4.6	直線 US-CCS-PM-CCPM(1)-CCPM(2)模擬綜合比較.....	44
4.7	直線及圓弧模擬綜合比較討論.....	51
4.7.1	直線 US-CCS-PM-CCPM(1)-CCPM(2)模擬綜合比較.....	51
4.7.2	圓弧 CCPM 模擬綜合比較.....	58
4.7.3	模擬綜合結論.....	61
第五章	結論與未來研究方向.....	62
5.1	結論.....	62
5.2	未來研究方向.....	62
參考文獻:	.....	63
自傳	.....	65

## 表目錄

	頁次
表(2-1) 各種控制法參數比較表 .....	03
表(4-4-1) 直線-US 控制基因演算法參數.....	24
表(4-4-2) 直線-US 控制法模擬結果一.....	25
表(4-4-3) 直線-US 控制法模擬結果二.....	25
表(4-4-4) 直線-CCS 控制基因演算法參數.....	27
表(4-4-5) 直線-CCS 控制法模擬結果一.....	28
表(4-4-6) 直線-CCS 控制法模擬結果二.....	28
表(4-4-7) 直線-PM 控制基因演算法參數.....	30
表(4-4-8) 直線 PM 控制法模擬結果一.....	31
表(4-4-9) 直線 PM 控制法模擬結果二.....	31
表(4-4-10) 直線-CCPM(1)控制基因演算法參數.....	33
表(4-4-11) 直線-CCPM(1)控制法模擬結果一.....	34
表(4-4-12) 直線-CCPM(1)控制法模擬結果二.....	34
表(4-5-1) 直線 CCPM(2)控制基因演算法參數.....	36
表(4-5-2) 直線 CCPM(2)控制法模擬結果一.....	37
表(4-5-3) 直線 CCPM(2)控制法模擬結果二.....	37
表(4-5-4) 圓弧 CCPM 控制基因演算法參數.....	40
表(4-5-5) 圓弧 CCPM 控制法模擬結果一.....	41
表(4-5-6) 圓弧 CCPM 控制法模擬結果二.....	41
表(4-6-1) 圓弧 CCPM 控制基因演算法參數.....	44
表(4-6-2) 圓弧 CCPM 控制模擬結果一.....	45
表(4-6-3) 圓弧 CCPM 控制模擬結果二.....	45
表(4-6-4) 圓弧 CCPM 控制模擬結果三.....	46
表(4-6-5) 圓弧 CCPM 控制模擬結果四.....	46

表(4-6-6)	圓弧 CCPM 控制模擬結果五.....	46
表(4-6-7)	圓弧 CCPM 控制模擬結果六.....	46
表(4-6-8)	圓弧 CCPM 控制模擬結果七.....	47
表(4-6-9)	圓弧 CCPM 控制模擬結果八.....	47
表(4-6-10)	圓弧 CCPM 控制模擬結果九.....	47
表(4-6-11)	圓弧 CCPM 控制模擬結果十.....	47
表(4-6-12)	圓弧 CCPM 控制模擬結果十一.....	48
表(4-6-13)	圓弧 CCPM 控制模擬結果十二.....	48



## 圖目錄

	頁次
圖(2-1) 未耦合單軸輪廓軌跡控制法 .....	03
圖(2-2-1) 交叉耦合雙軸向控制法.....	05
圖(2-2-2) 交叉耦合雙軸向控制法.....	06
圖(2-2-3) 交叉耦合雙軸向控制法.....	07
圖(2-3-1) CCPM 交叉耦合預補償法.....	08
圖(2-3-2) Linear tracking using CCPM.....	11
圖(2-3-3) Circular tracking using CCPM.....	11
圖(3-1) 適存度函數直線調整法前後值對照圖.....	14
圖(3-2) 適存度函數直線調整法負值情況對照圖.....	15
圖(3-3) GA流程圖.....	18
圖(4-4-1) 直線-US 控制法：IAE 最小值.....	26
圖(4-4-2) 直線-US 控制法：Ke 最佳值.....	26
圖(4-4-3) 直線-CCS 控制法：IAE 最小值.....	29
圖(4-4-4) 直線-CCS 控制法：Kz 最佳值.....	29
圖(4-4-5) 直線-PM 控制法：IAE 最小值.....	32
圖(4-4-6) 直線-PM 控制法：Kv 最佳值 .....	32
圖(4-4-7) 直線-CCPM(1)控制法：IAE 最小值.....	35
圖(4-4-8) 直線-CCPM(1)控制法：Kv 最佳值.....	35
圖(4-5-1) 直線-CCPM(2)控制法：IAE 最小值.....	38
圖(4-5-2) 直線-CCPM 控制法(2)：Ke 最佳值.....	38
圖(4-5-3) 直線-CCPM(2)控制法：Kz 最佳值.....	39
圖(4-5-4) 直線-CCPM(2)控制法：Kv 最佳值.....	39
圖(4-5-7) 圓弧-CCPM 控制法：IAE 最小值.....	42
圖(4-5-8) 圓弧-CCPM 控制法：Ke 最佳值.....	42



圖(4-5-9)	圓弧-CCPM 控制法：Kz 最佳值.....	43
圖(4-5-10)	圓弧-CCPM 控制法：Kv 最佳值.....	43
圖(4-6-1)	圓弧-CCPM 控制法：IAE 最小值.....	49
圖(4-6-2)	圓弧-CCPM 控制法：Ke 最佳值.....	49
圖(4-6-3)	圓弧-CCPM 控制法：Kz 最佳值.....	50
圖(4-6-4)	圓弧-CCPM 控制法：Kv 最佳值.....	50
圖(4-7-1)	直線 US-CCS-PM-CCPM(1)-CCPM(2)控制法：IAE-Vb 綜合比較圖 .....	52
圖(4-7-2)	直線-US 控制法：IAE-Vb 相對比較圖.....	53
圖(4-7-3)	直線-US 控制法：KE-Vb 相對比較圖.....	53
圖(4-7-4)	直線-CCS 控制法：IAE-Vb 相對比較圖.....	54
圖(4-7-5)	直線-CCS 控制法：Kz-Vb 相對比較圖.....	54
圖(4-7-6)	直線-PM 控制法：IAE-Vb 相對比較圖.....	55
圖(4-7-7)	直線-PM 控制法：Kv-Vb 相對比較圖.....	55
圖(4-7-8)	直線-CCPM(1)控制法：IAE-Vb 相對比較圖.....	56
圖(4-7-9)	直線-CCPM(1)控制法：Kv-Vb 相對比較圖.....	56
圖(4-7-10)	直線-CCPM(2)控制法：IAE-Vb 相對比較圖.....	57
圖(4-7-11)	直線-CCPM(2)控制法：(Ke、Kz、Kv)-Vb 相對比較圖.....	57
圖(4-7-12)	圓弧 CCPM 控制法：KE-Vb 綜合比較圖.....	59
圖(4-7-13)	圓弧 CCPM 控制法：KZ-Vb 綜合比較圖.....	59
圖(4-7-14)	圓弧 CCPM 控制法：KV-Vb 綜合比較圖.....	60
圖(4-7-15)	圓弧 CCPM 控制法：IAE-Vb 綜合比較圖.....	60

## 符號說明

D：干擾

$D_x, D_y$ ：干擾的x,y軸分量

DAC：數位訊號對類比訊號轉換

DDA：數位訊號微分分析器

e：位置誤差(實際刀具位置和參考刀具位置之間的誤差)

**E**：位置誤差向量

**Er**：輪廓誤差向量(定義為目標輪廓和實際輪廓之最短距離)

IAE：整體誤差絕對值的平均值

$IAE=1/N(\sum_{i=1}^N |e(i)|)$ ：整體誤差絕對值的平均值計算式

ITAE：整體誤差絕對值和時間乘積的平均值

$ITAE=1/N(\sum_{i=1}^N t(i)|e(i)|)$ ：整體誤差絕對值和時間乘積的平均值計算式

k：位置增益

$k_v$ ：速度前向增益

$k_m$ ：伺服馬達轉矩常數

$K_c$ ：編碼器增益

$K_x$ ：伺服馬達增益x軸分量

$K_y$ ：伺服馬達轉矩常數y軸分量

$K_v$ ：速度補償增益( PM速度預補償系統增益)

$k_{\varepsilon_x}, k_{\varepsilon_y}$ ：輪廓誤差補償增益的x,y軸分量(CCS輪廓誤差預補償系統增益)

$k_{ex}, k_{ey}$ ：軌跡誤差補償增益的x,y軸分量(US未耦合軌跡誤差補償系統增益)

$P^*$ ：刀具目標位置

p：刀具實際進給位置或回授之位置

**P\***：目標位置向量

**P**：實際位置向量

$\dot{P}$ ：實際位置向量的微分即實際速度向量

$P_1^*$ ：靠近 $P^*$ 的另一目標位置向量

$\dot{P}^*$ ：目標位置向量  $P^*$  的微分即目標速度向量

$R$ ：徑向輪廓誤差

$R_i$ ：實際半徑

$SSE$ ：穩態誤差

$T$ ：取樣時間

$T$ ：轉矩命令

$U$ ：控制訊號

$U$ ：速度進給命令 (控制訊號)

$V$ ：實際速度(回授之速度)

$V^*$ ：目標速度命令

$V^*$ ：目標位置向量  $P^*$  的微分即目標速度的單位向量

$\bar{V}$ ：為速度向量  $V$  及  $V^*$  的平均單位速度向量

$V_k$ ：速度補償(修正速度)

$V_{kx}, V_{ky}$ ：速度補償的  $x, y$  軸分量(修正速度的  $x, y$  軸分量)

$V_t$ ：實際切線速度

$V_b$ ：原始進給速度命令(進給率)

$V_{bx}, V_{by}$ ：原始進給速度命令的  $x, y$  軸分量(進給率的  $x, y$  軸分量)

$W$ ：為一個適當選擇的權重係數，用來加速的控制響應。

$x, y$ ： $x-y$  軸向之索引

$(X_p, Y_p)$ ：實際刀具位置

$(X_f, Y_f)$ ：新的刀具參考位置

$\varepsilon$ ：輪廓誤差(實際位置和目標位置的最短距離)

$|\varepsilon_{\max}|$ ：最大輪廓誤差的絕對值



$\xi$ ：阻尼係數

$\tau_m$ ：伺服馬達轉時間常數

$\tau$ ：時間常數

$\Phi$ ：進給路徑對 X 軸的角度

$\omega_n$ ：自然振動頻率

$\times$ ：向量的叉積 (Vector cross product)

$\cdot$ ：向量的內積 (Vector inner product)

