

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

精密混合式運動平台之協同運動最佳化及以基因法決定系統增益值

計畫類別： 個別型計畫

計畫編號： NSC94-2212-E-009-023-

執行期間： 94 年08 月01 日至95 年07 月31 日

執行單位： 國立交通大學機械工程學系

計畫主持人： 秦繼華

報告類型： 精簡報告

報告附件： 出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式： 本計畫可公開查詢

中華民國 95年12 月20 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫

成果報告 期中進度報告

精密混合式運動平台之協同運動最佳化及以基因法決定系

統增益值

System Gains Configuration and Coordination of Redundant Degrees of Freedom by Genetic Algorithms for Multi-axis Machine System in Manufacturing

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 94 - 2212 - E - 009 - 023 -

執行期間：94 年 8 月 1 日至 95 年 7 月 31 日

計畫主持人：秦繼華

共同主持人：(無)

計畫參與人員：孔俊凱、陳昱晟、彭祥恩

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、

列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：交通大學機械工程學系

中 華 民 國 9 5 年 1 2 月 2 0 日

1、中文摘要

在具有多餘自由度的混和式多軸精密工具機中，系統增益值及多軸協同運動的決定往往非常困難。本計畫採用基因法解決這一問題。其中系統增益值係離線決定，性質如同系統設計，決定的增益值組合，可以作為進一步線上調整的基礎。運用多餘自由度的協同運動，則是線上進行，本計畫得到良好結果，證明基因法在多軸機器運動上的功效，並激發基因法與其他方法結合的新視野。

2、系統構建

圖1為本計畫所研究的混和式多軸工具機，係由XY平台與平行式運動平台構成。

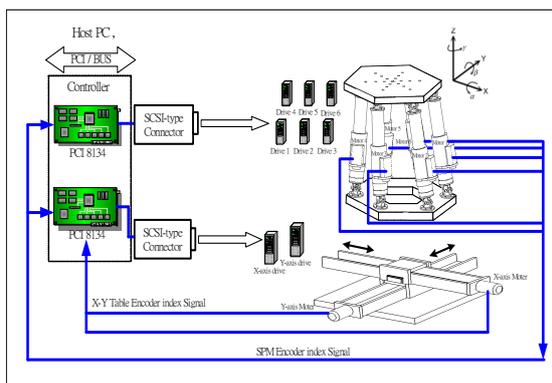


圖1 本計畫所研究之多自由度工具機

2.1 逆向運動學

逆向運動是上平板形心的位置與傾角 $(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)$ 推算各運動軸長度

$L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6$ 。

先推算上平板的各關節位置：

$$[{}^b E_i] = [{}^b T_e] * [{}^e E_i], i=1 \sim 6 \quad (1)$$

各運動軸長度於是可得：

$$|L_i| = |{}^b E_i - {}^b B_i|, i=1 \sim 6 \quad (2)$$

2.2 前向運動學

前向運動學定義為：已知各軸位置、速度、加速度進，而求解動平板形心的位置、速度以及加速度。其中位置可以解下式得到

$$J\Delta P = \Delta F \quad (3)$$

3、以基因法做增益值配置與運動協同

3.1 基因法決定系統增益值

表 1 是本計畫中探討的三種軌跡追蹤策略的增益值情形。各策略的增益值分別為：

$$K_e : K_{ex}, K_{ey}, K_{ez}, K_{e\alpha}, K_{e\beta}, K_{e\gamma}$$

$$K_\varepsilon : K_{\varepsilon x}, K_{\varepsilon y}, K_{\varepsilon z}, K_{\varepsilon\alpha}, K_{\varepsilon\beta}, K_{\varepsilon\gamma}$$

$$K_v : K_{vx}, K_{vy}, K_{vz}, K_{v\alpha}, K_{v\beta}, K_{v\gamma}$$

表 1 不同追蹤策略的增益值

Levels \	預補償 增益值 K_v	交叉耦合 增益值 K_ε	傳統追蹤 增益值 K_e
US	0	0	non-zero
CCS	0	non-zero	non-zero
CCPM	non-zero	non-zero	non-zero

在決定系統增益值上，本計畫採用絕

對追蹤誤差當 fitness function:

$$IAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |\varepsilon(i)|$$

並提出以下程序：

1、隨機產生設計變數 K_e, K_ε, K_v 的初始 population.

2、將產生的增益值，代入混合式多軸運動平台，行經空間軌跡完成後，得到其適存度函數 IAE 之值。

3、執行選擇、複製、交配、突變過程，產生新的群組世代

4、回到步驟 2 計算新的群組世代的 IAE 之值，直到最大生成生成世代為止。

得到最佳增益值 K_e, K_ε, K_v 。

在此階段，所有在 X-, Y-方向的位移，都由 XY 平台執行，尚未做運動偕同最佳化。

3.2 基因法決定運動協同最佳化系統

在運動中，兩點的位移為：

$$\Delta p_n = (x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)_n - (x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)_{n-1} = (\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta \alpha, \Delta \beta, \Delta \gamma)_n$$

(4)

假設有一組運動分配會得到最佳結果：

$$\Delta p_{n,PS} = ((1 - \mu_x) \Delta x, (1 - \mu_y) \Delta y, \Delta z, \Delta \alpha, \Delta \beta, \Delta \gamma)_n$$

$$\Delta p_{n,XY} = (\mu_x \Delta x, \mu_y \Delta y)_n \quad (5) \quad (6)$$

而 $0 \leq \mu_x \leq 1, 0 \leq \mu_y \leq 1$

定義以下的 fitness function:

$$f(\mu_x, \mu_y) = \sum_{i=1}^6 (\Delta l_i)^2$$

問題變成：

$$\text{To minimize } f(\mu_x, \mu_y) = \sum_{i=1}^6 (\Delta l_i)^2, \quad i = 1-6 \quad (7)$$

Subject to $0 \leq \mu_x \leq 1$, and $0 \leq \mu_y \leq 1$

基因演算法流程：

1、假設第 i 個軌跡取樣點為

$$(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta \alpha, \Delta \beta, \Delta \gamma)$$

2、隨機產生初始群組世代的設計變數 μ_x, μ_y

3、計算其適存度函數

$$f(\mu_x, \mu_y) = \sum_{i=1}^6 (\Delta l_i)^2$$

4、藉由基因演算法中的選擇、複製、交配、突變過程，產生新的群組世代

5、回到步驟 3 計算新的群組世代適

$$\text{存度函數 } f(\mu_x, \mu_y) = \sum_{i=1}^6 (\Delta l_i)^2, \text{ 直}$$

到最大生成生成世代為止。

6、得到最佳分配比例 μ_x, μ_y

7、依 1~6，計算第 $i+1$ 個軌跡取樣點的最佳分配比例 μ_x 、 μ_y ，直到軌跡完成

4、實驗與討論

4.1 機台動態

圖2為實驗機台，其中六個併聯運動軸的脈波與位移量的轉移函數經實驗得到：

$$L_i(S) = \frac{0.1479S^2 + 3.161S + 297.8}{S^3 + 18.79S^2 + 1142S + 651.2}, i = 1 \sim 6$$



圖2 本計畫之實驗機台

x-y table 的 x 軸與 y 軸驅動軸的脈波與位移量的轉移函數：

$$X(S) = \frac{0.237S^2 + 9.691S + 462.2}{S^3 + 12.79S^2 + 2526S + 43.27}$$

$$Y(S) = \frac{0.2041S^3 + 19.76S^2 + 878.7S + 1884}{S^4 + 48.05S^3 + 2865S^2 + 110900S + 9507}$$

4.2 實驗結果

採用以下兼具位置（圖 3）與方向（圖 3）變化的空間取線做實驗，軌跡方程式為：

$$X(t) = t \cdot \cos(t); \quad Y(t) = t \cdot \sin(t);$$

$$Z(t) = t + 130$$

$$\alpha(t) = t \cdot \cos(t) \times \pi / 180; \quad \beta(t) =$$

$$t \cdot \sin(t) \times \pi / 180; \quad \gamma(t) = 0$$

$$T = 0 \sim 10 \text{sec}; \quad \text{sampling time} = 0.02 \text{sec}$$

$$\text{Position} = [x(t), y(t), z(t), \alpha(t), \beta(t), \gamma(t)]$$

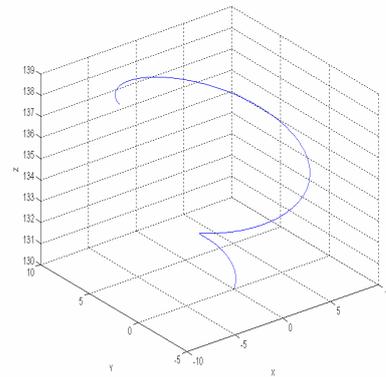


圖 3 位置軌跡

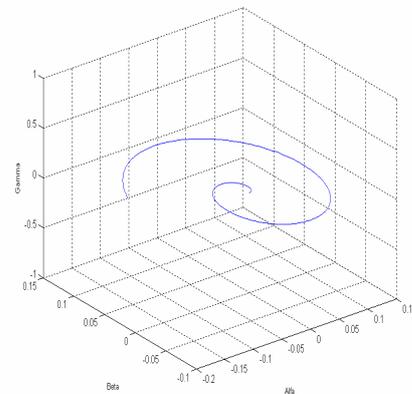


圖 4 方向軌跡

圖 5 及圖 6 顯示 US, CCS, CCPM 三種軌跡追蹤系統所得到的位置輪廓誤差與方向輪廓誤差。

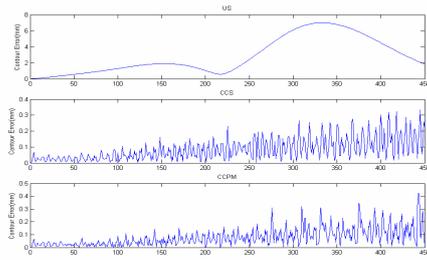


圖 5 US, CCS and CCPM 三種系統的位置輪廓誤差圖

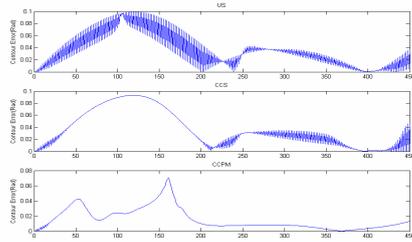


圖 6 US, CCS and CCPM 三種系統的方向輪廓誤差圖

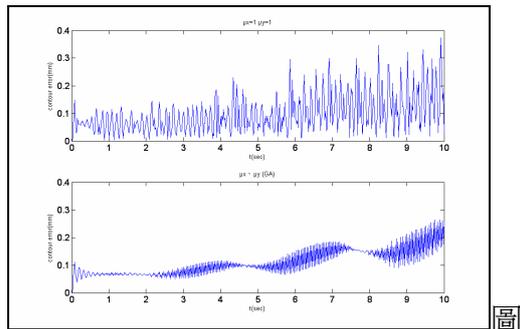


圖 7 無運動協調（上圖）及有運動協調（下圖）的輪廓誤差

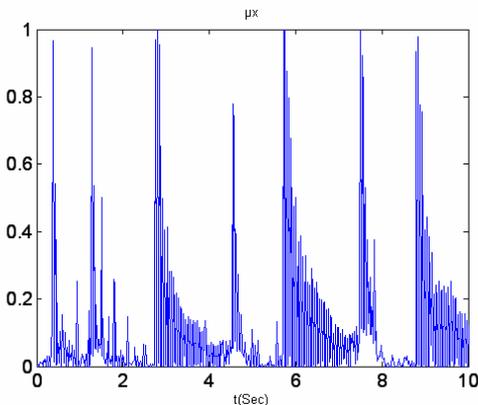


圖 8 μ_x 的時間變化圖

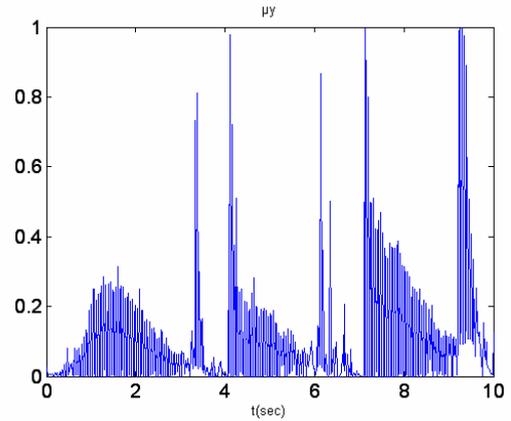


圖 9 μ_y 的時間變化圖

圖 8 與圖 9 分別顯示在運動協調過程中，分配值變化的情形。

表 2 有 GA 及無 GA 運動協調的輪廓誤差比較

	IAE	$ Er_{max} $
CCPM	0.0788	0.4247
CCPM(GA)	0.0903	0.2343

表 2 顯示基因法的運動協調結果，IAE 值雖然變大，但是絕對誤差質變小。

5 結論

本計畫探索用基因法決定系統增益值，及做有多餘運動自由度的運動協調。可得以下結論：

- (1) 以離線方式運用基因法做系統增益值配置具有成效。
- (2) 在本計畫中，線上做運動協調分配，可以勝 20ms 的演算速度，

如果對樣本數目、編碼長度、演算世代做若干限制，線上使用 GA 是有可能的。

(3) 基因法對多餘自由度的最佳化使用，與直覺並不一致。

(4) 最佳化運動協同產生較小的絕對誤差，但是平均誤差較大，這表示所追蹤的軌跡 fluctuation 較小，事後修補的成本應較小。

(5) 基因法演算速度較慢，其結果有不可預期性，這兩種缺點，若與其他方法結合，例如模糊法，則基因法在機械與製造領域應有相當潛力。

參考文獻

References

- [1] Chih-Wei Lue, Yuan-Ming Cheng, and Jih-Hua Chin, "System Structure and Contour Tracking for a Hybrid Motion Platform", the International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2004), DOI 10.1007/s00170-004-211-2
- [2] J.-H. Chin, H.-W. Lin, "The algorithms of the cross-coupled precompensation method for generating the involute-type scrolls" ASME J. Dynamic Systems, Measurement, and Control, March, Vol.121, (1999), pp.96-104
- [3] J-H Chin, Y-M Cheng, and J-H Lin, , "Improving Contour Accuracy by Fuzzy Logic enhanced Cross-coupled Precompensation Method", Robotics and Computer Integrated Manufacturing 20, (2003) pp.65-76
- [4] P. Sarachik, J. R. Ragazzini, "A two dimensional feedback control system", Trans. AIEE, vol. 76, (1957), pp. 55-61,
- [5] Y. Koren, "Cross-coupled biaxial computer control for manufacturing systems", ASME Trans Journal of Dynamic System, Measurement and Control, Vol.102, No.4, (1980), pp. 265-272
- [6] Y. Koren, C.-C. Lo, "Variable gain cross coupling control for contouring", Annals of the CIRP, Vol.40, (1991), pp.371-374
- [7] J.-H. Chin, and H.-C. Tsai, "A path algorithm for robotic machining", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 10, No. 3, (1993), pp. 185-198
- [8] J.-H. Chin, S-T Lin, "The path precompensation method for flexible arm robot", Robotics & Computer-Integrated Manufacturing, Vol.13, No.3 (1997), pp.203-215
- [9] J.-H. Chin, T-C Lin, "Cross-coupled precompensation method for the

- contouring accuracy of computer numerically controlled machine tools”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 37, (1997), No.7, pp.947-967
- [10] D.B. Fogel, “An evolutionary approach to the traveling salesman problem,” *Biological Cybernetics*, Vol.60, (1988), pp.139-144
- [11] A. Scott, “An introduction to genetic algorithms”, *AI Expert*, Vol.4, No.3, (1990), pp.49-53,
- [12] D.E. Goldberg, “Genetic algorithms: in search, optimization and machine learning”, Reading, MA: Addison-Wesley, 1989
- [13] K.F. Man, K. S. Tang, and S. Kwong, “Genetic algorithms: Concepts and Applications”, *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, Vol.43, No.5, (1996), pp.519-533,
- [14] M. Srinivas, L.-M. Patnaik, “Genetic algorithms: A Survey”, *IEEE Computer*, June, (1994), pp.17-26
- [15] Kenji Yamamoto and Osamu Inoue, “New evolutionary direction operator for genetic algorithms”, *AIAA J.*, Vol. 33, No.10, (1995), pp.1990-1993,
- [16] Zakariya, M., Al-Hamouz and Hussain N, Al-Duwaish, “A new variable structure DC motor controller using genetic algorithms”, *IEEE Trans. On Industrial Electronics*, Vol.1, No.2, Nov., (1998), pp.1669-1673
- [17] Hussain N, Al-Duwaish, and Zakariya, M., Al-Hamouz, “A genetic approach to the selection of the variable structure controller feedback gains”, *IEEE Int. Conf. on control applications Trieste, Italy*, 1-4 Sept., (1998), pp.227-231
- [18] Y.-S. Tarn, H.-Y., Chuang, , and W.-T. Hsu, “Intelligent cross-coupled fuzzy feedrate controller design for CNC machine tools based on genetic algorithms”, *Int. J. Machine Tools & Manufacture* 39, (1999), pp.1673-1692