

發展適用於交叉耦合預補償法之類神經模糊控制器

Development of Fuzzy Logic Controller for Cross-coupled Precompensation Method

計劃編號：NSC-89-2213-E-009-125

執行期間：88年8月1日至89年7月31日

計劃主持人：秦繼華 國立交通大學 教授

一、摘要

輪廓精度都來自演算法的努力，精度與演算耗費之間成一 trade-off 之關係。一般軌跡追蹤都是在輪廓誤差與位置誤差兩者間擇一作為修正依據，本計劃兼用兩者，建立一個模糊控制器，使原有之交叉耦合預補償法在不須追加繁瑣演算的情況下，獲得輪廓精度之改進。

二、計劃的緣由及目的

軌跡追蹤可概分為兩類，一類做位置控制，一類做輪廓控制。兩者在過去都有長足進步。在涉及輪廓的連續路徑加工上，一般使用輪廓控制，其中較成功的是交叉耦合補償法。計劃研題單位過去研究一種預補償法，對具有高曲率的曲徑效果良好，後來將預補償法與交叉耦合法結合(CCPM)，成為目前精度最高的一種輪廓控制法。這種方法必須發展出專用的路徑產生器，在數學上並不簡單，若要進一步提昇該方法的功效，且不涉及過度繁雜的數學演算，則應用模糊控制是良好的構想。

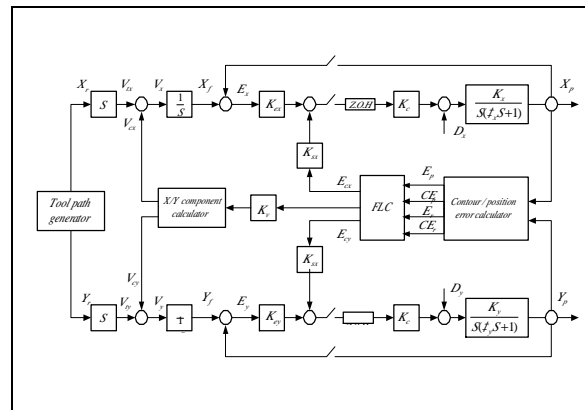
三、研究方法及成果

基本構想：同時考慮輪廓誤差及位置誤差作為輪廓補正的依據。

Case1: 輪廓誤差為“Small”位置誤差為“Large”，則降低位置誤差為首

要考慮。

Case2: 輪廓及位置誤差同為“Small”，“Medium”或“Large”，則補償速度 V_c 兼顧輪廓及位置誤差。



Case3: 輪廓誤差為“Large”，位置誤差為“Small”，則降低輪廓誤差為首要考慮。

CCPM 模糊控制器之構建

圖 1 具模糊控制器之 CCPM 系統

圖 1 顯示本計劃所發展之具模糊控制器(FLC)之 CCPM 系統，吾人選用輪廓誤差 E_r 、輪廓誤差變量 CE_r 、位置誤差 E_p 、位置誤差變量 CE_p 作為模糊控制器之輸入。

有 8 個變數要定義：

$$V_{ix} = E_{ix}(n) \times GE$$

$$dV_{ix} = (E_{ix}(n) - E_{ix}(n-1)) \times GCE$$

$$V_{iy} = E_{iy}(n) \times GE$$

$$dv_{ry} = (E_{ry}(n) - E_{ry}(n-1)) \times GCE$$

$$v_{px} = E_{px}(n) \times GE$$

$$dv_{px} = (E_{px}(n) - E_{px}(n-1)) \times GCE$$

$$v_{py} = E_{py}(n) \times GE$$

$$dv_{py} = (E_{py}(n) - E_{py}(n-1)) \times GCE$$

其中 GE 與 GCE 為數量參數。

模糊控制器之輸出如下：

$$U_{rx} = f(v_{rx}, dv_{rx}) \times GU$$

$$U_{ry} = f(v_{ry}, dv_{ry}) \times GU$$

$$U_{px} = f(v_{px}, dv_{px}) \times GU$$

$$U_{py} = f(v_{py}, dv_{py}) \times GU$$

其中 Gu 為數量參數， $f(...)$ 為模糊規則（詳表 1）

表 1：模糊控制器之規則

$dv \backslash v$	PL	PS	ZE	NS	NL
PL	PL ¹	PL	PL	PL	PL
PS	PL	PL	PS	ZE	NS
ZE	PL	PS	ZE	NS	NL
NS	PS	ZE	NS	NL	NL
NL	NL	NL	NL	NL	NL

表中符號如下：PL：positive large，PS：positive small，NL：negative large，NS：negative small，ZE：zero。

表 1 之規則解讀如下：

PL¹：IF 輪廓誤差為 PL，AND dv 為 PL，THEN 輸出 PL 之補償量。

進給速度的產生

補償速度向量 E_c 的分量依下列方式產生：

$$E_{cx} = U_{rx} + U_{px}$$

$$E_{cy} = U_{ry} + U_{py}$$

新的進給速度是切線方向的原進給速度與補償速度的向量合：

$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_t + \mathbf{V}_c = V_b \mathbf{T} + K_v \mathbf{E}_c$$

實驗

吾人進行三個系列的實驗：

- (1) 以不同速率行走直線
- (2) 以不同速率行走不同半徑的圓
- (3) 在負載下行走圓形路徑

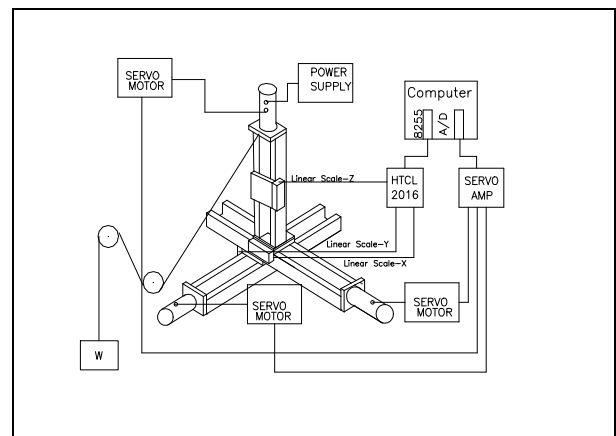


圖 2 實驗裝置

分別評比非耦合系統(US)，交叉耦合系統(CCS)，交叉耦合預補償系統(CCPM)及具模糊控制器之交叉耦合預補償系統(CCPM with FLC)等四種軌跡控制方法，評比時採用數種指標：“Integral Absolute-Error (IAE) criterion”，“Integral-of-Time-multiplied Absolute-Error (ITAE) criterion”，“Integral Square -Error (ISE) criterion”，

“Integral-of-Time-multiplied (ITSE) criterion”

(1) 以不同速率行走直線

以 10, 25, 50, 75mm/sec 等四種不同進給速度做實驗，行走 26 度傾角 164-mm 長度之路徑。

先以實驗方法決定各項 Gain 值，先將 K_v , K_{sx} , K_{sy} 設為 0，調 K_{ex} , K_{ey} ，調到輪廓誤差開始發散前為止，再調 K_{sx} , K_{sy} ，及 K_v 。

(2) 以不同速率行走不同半徑的圓

以 10, 25, 50, 75 mm/sec 等四種不同進給速度行走 50mm, 30mm, 20mm 等三種不同半徑之圓。

(3) 在負載下行走圓形路徑

對 y 軸施加 40kg 之負荷，並在該負荷下以 10 mm/sec 之速度行走半徑為 50mm 之圓。

實驗結果與討論

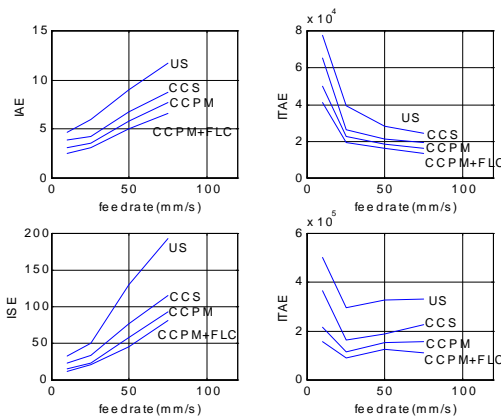
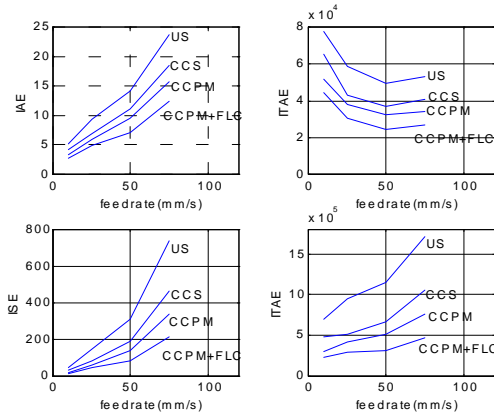


圖 3 以 US, CCS, CCPM 及 CCPM+FLC 行走直線路徑之誤差比較

行走半徑 50mm 之圓路徑，本計劃所提出之具模糊控制器之 CCPM 的 IAE 為原 CCPM 的 79%，為 CCS 的 66%，圖 4 以 US, CCS, CCPM 及



CCPM+FLC 行走半徑 50mm 之圓路徑之誤差比較

為 US 的 55%。行走半徑 30mm 之圓路徑，本計劃所提出之具模糊控制器之 CCPM 的 IAE 為原 CCPM 的 77%，為 CCS 的 65%，為 US 的 52%。行走半徑 20mm 之圓路徑，本計劃所提出之具模糊控制器之 CCPM 的 IAE 為原 CCPM 的 75%，為 CCS 的 61%，為 US 的 50%。

表 1 Y 軸受力 40 kg 之結果

	IAE	ITAE	ISE	ITSE
US	11.63	11.30	18.46	20.38
CCS	8.70	8.97	25.0	35.65
CCPM	8.17	8.77	23.04	25.30
CCPM+FLC	6.65	1.15	12.93	1.99

四、結論

機床的軌跡控制近年來有長足之進步，尤以輪廓補償法出現後為然。

但是軌跡精度均是繁複演算法所換取而來。

本計劃以以往的交叉耦合預補償法為基礎，研究以較少之演算，再進一步提高軌跡精度。

在策略上，以往的軌跡控制都是選用位置誤差或輪廓誤差作為補償的依據，本計劃兼採兩者作為補償的依據。在方法上，本計劃發展模糊控制器，由位置誤差及輪廓誤差產生補償量，不必耗費的演算，即可使原來的交叉耦合預補償法的精度再提昇。

本計劃由實驗驗證所提之方法，並證明，具備模糊控制器的交叉耦合預補償法受到負荷的干擾最小。

本計劃所提之想法亦可施用於其他軌跡控制法，使軌跡控制法再不增加演算耗費的情況下，提昇軌跡精度。