

## 6.4 連續補間

承接 3.3.5 節，關於連續補間實現的方式有兩種方法(Polling/Interpolation)，由於視窗作業系統多工的關係，中斷時間並不固定，所以在視窗程式實作上以 polling 的方式，而在 Dos 下兩種方式皆可使用。為統一整合方便，便以第一種為 Polling 的方式為測試方法，利用 MCX314 中 RR0 暫存器的 D9 位元中(1、0)數值的改變，以控制下一個補間節點資料和補間驅動指令的寫入與否。連續補間需注意在致能驅動指令之前，必須先寫入每一個節點的運動參數資料，而且在連續補間運動過程中不允許運動軸的切換或改變。

為測試連續補間運動，規劃直線與直線，直線與圓弧這兩種方式，配合不同的加減速機制，成為多種連續補間的加減速運動組合。每一段之間的加減速規劃皆使用了兩種方式 Blended 速度規劃的方式，第一種為前段補間減速完成後再接著後段的加減速的補間運動；第二種為前段補間完成等速段時，即接著後段的加減速的補間運動，後段的初速度即為前段的驅動速度。由於 MCX314 的加減速規劃在減速停止時，無法給定一個新的減速停止的數值，當減速停止發生時，便會由驅動速度減速至初速度後再停止。因此在後段的加減速規劃時，可在最後一段的節點補間資料設計為慢速的加減速補間，或者後對段給定之初速度值不要過大，以讓速度曲線較為平滑的降至低速再停止。

### 6.4.1 直線與直線連續補間

規劃兩運動軸 Axis1 和 Axis2 分別為 X 軸和 Z 軸，規劃前後段曲線為 T-Curve 加減速和 S-Curve 加減速的組合，兩段運動路徑的規劃是由低速至高速，規劃一、三、五為第一段減速至初速度後才開始第二段的加減速，如圖 6-13、圖 6-15、圖 6-17 所示。規劃二、四、六為當第一段的加減速即將從等速段開始減速時，即開始第二段的加減速，第二段的初速度大小值則設為第一段的驅動速度，讓兩段的承接的速度曲線為連續，如圖 6-14、圖 6-16、圖 6-18 所示。各軸追蹤誤差的趨勢大都與驅動切線速度變化成正比，雖然在加速段與高速段有數十個 BLU 的誤差，但到達終點時皆在誤差範圍內( $\pm 1$  BLU)。

■ 直線與直線 Blended 速度規劃一

第一段曲線規劃(I)： 直線補間以 T-Curve 加減速，設置各參數後利用 Line2D\_T 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	終點座標(FP)
5	100	1000	80	(3000,4000)

第二段區線規劃(I)：直線補間以 T-Curve 加減速，設置各參數後利用 Line2D\_T 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	終點座標(FP)
5	100	2000	160	(5000,4000)

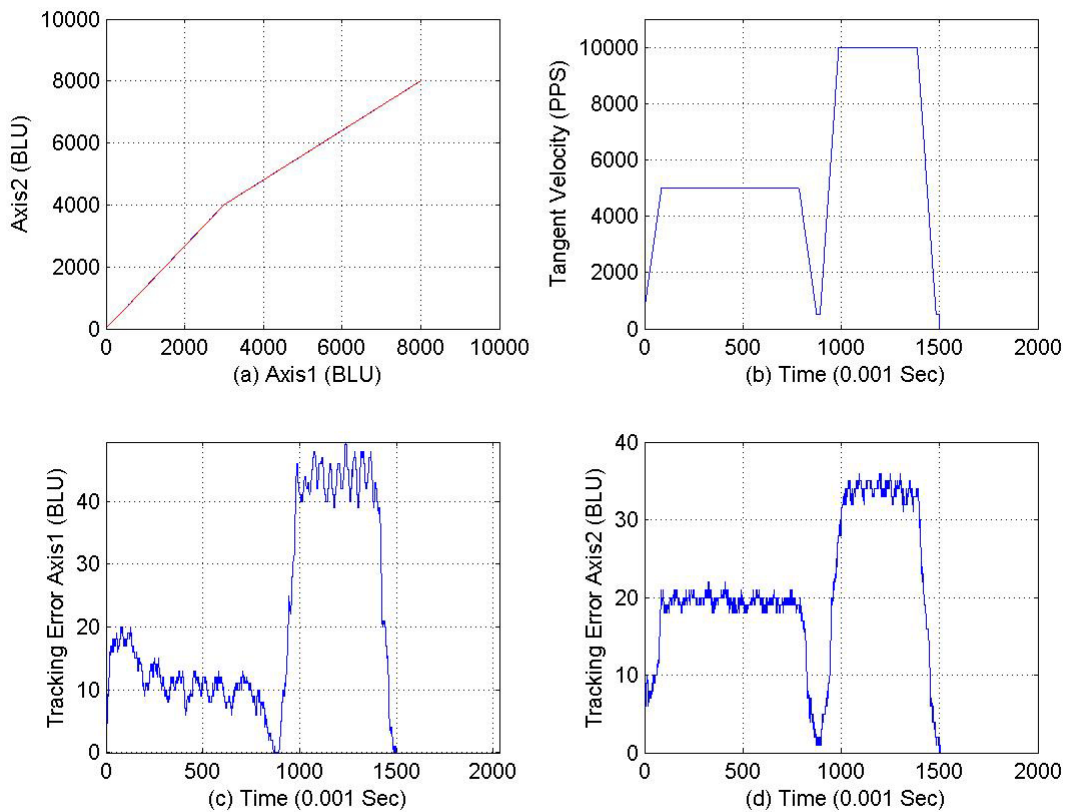


圖 6-13 直線與直線 Blended 速度規劃一

(a)直線+直線兩段連續補間(T-Curve+T-Curve);(b)切線速度響應;(c)Axis1 追蹤誤差;(d) Axis2 追蹤誤差

■ 直線與直線 Blended 速度規劃二

第一段曲線規劃：直線補間以 T-Curve 加減速，設置各參數後利用 Line2D\_T 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	終點座標(FP)
5	100	1000	80	(3000,4000)

第二段區線規劃：直線補間以 T-Curve 加減速，設置各參數後利用 Line2D\_T 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	終點座標(FP)
5	1000	2000	160	(5000,4000)

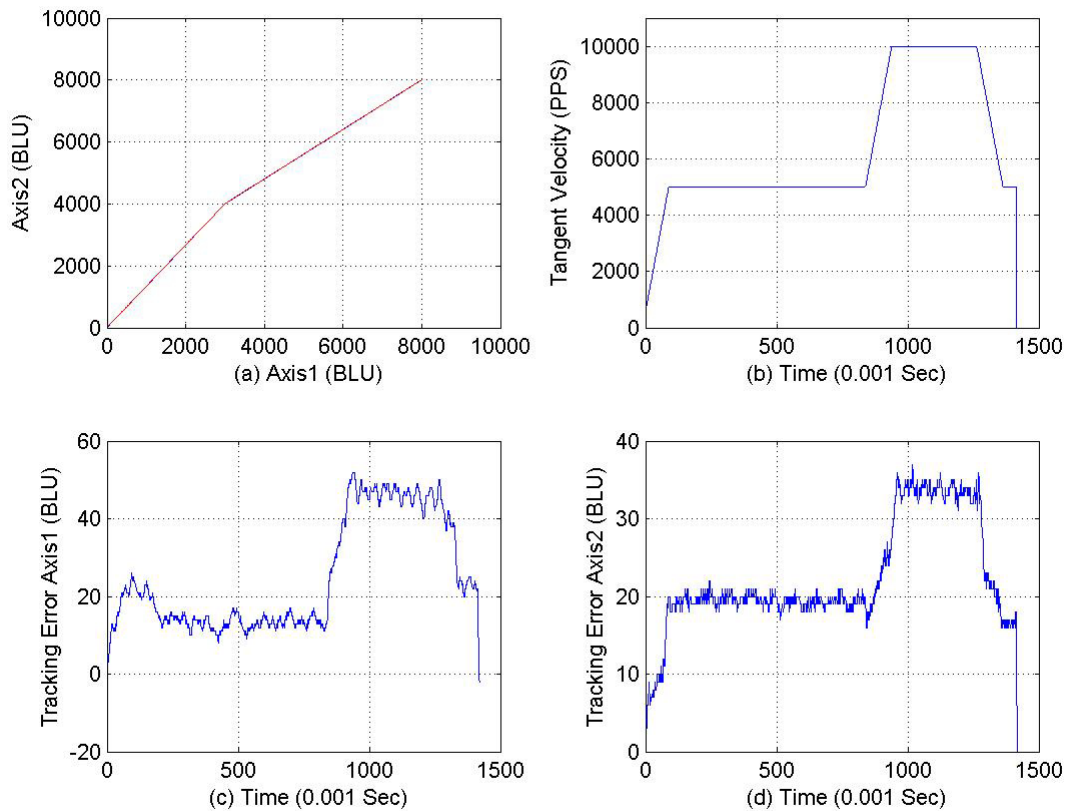


圖 6-14 直線與直線 Blended 速度規劃二

(a)直線+直線兩段連續補間(T-Curve+T-Curve)；(b)切線速度響應；(c)Axis1 追蹤誤差；(d)Axis2 追蹤誤差

■ 直線與直線 Blended 速度規劃三

規劃前後段運動曲線為 T-Curve+S-Curve 的組合。

第一段曲線規劃：直線補間以 T-Curve 加減速，設置各參數後利用 Line2D\_T 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	終點座標(FP)
5	100	1000	80	(3000,4000)

第二段區線規劃：直線補間以 S-Curve 加減速，設置各參數後利用 Line2D\_S 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度 (V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	加速度變化率 (K) (PPS/Sec <sup>2</sup> )	終點座標 (FP)
5	100	2000	160	625	(5000,4000)

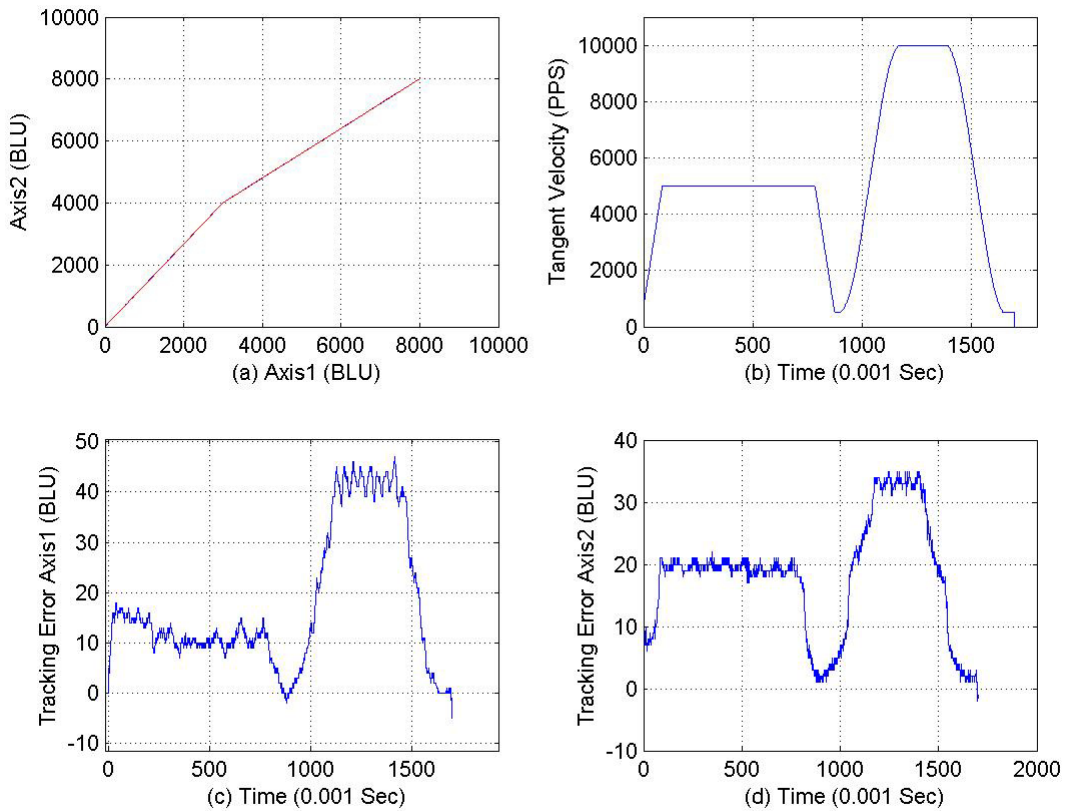


圖 6-15 直線與直線 Blended 速度規劃三

(a)直線+直線兩段連續補間(T-Curve+S-Curve)；(b)切線速度響應；(c) Axis1 追蹤誤差；(d) Axis2 追蹤誤差

■ 直線與直線 Blended 速度規劃四

第一段曲線規劃：直線補間以 T-Curve 加減速，設置各參數後利用 Line2D\_T 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	終點座標(FP)
5	100	1000	80	(3000,4000)

第二段區線規劃：直線補間以 S-Curve 加減速，設置各參數後利用 Line2D\_S 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度 (V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	加速度變化率 (K) (PPS/Sec <sup>2</sup> )	終點座標 (FP)
5	1000	2000	160	625	(8000,6000)

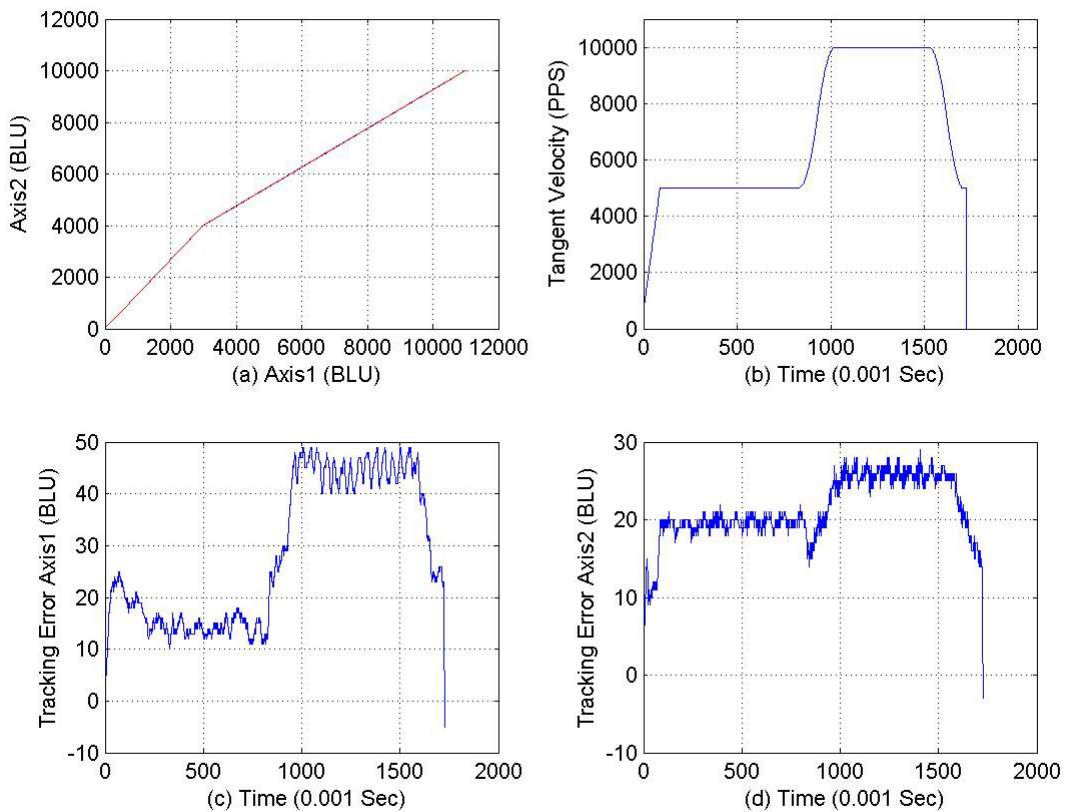


圖 6-16 直線與直線 Blended 速度規劃四

(a)直線+直線兩段連續補間(T-Curve+S-Curve)；(b)切線速度響應；(c) Axis1 追蹤誤差；(d) Axis2 追蹤誤差

■ 直線與直線 Blended 速度規劃五

規劃前後段曲線皆為 S-Curve 加減速。

第一段曲線規劃：直線補間以 S-Curve 加減速，設置各參數後利用 Line2D\_S 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	加速度變化率(K) (PPS/Sec <sup>2</sup> )	終點座標(FP)
5	100	1000	80	625	(3000,4000)

第二段區線規劃：直線補間以 S-Curve 加速，設置各參數後利用 Line2D\_S 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	加速度變化率(K) (PPS/Sec <sup>2</sup> )	終點座標(FP)
5	100	2000	160	625	(5000,4000)

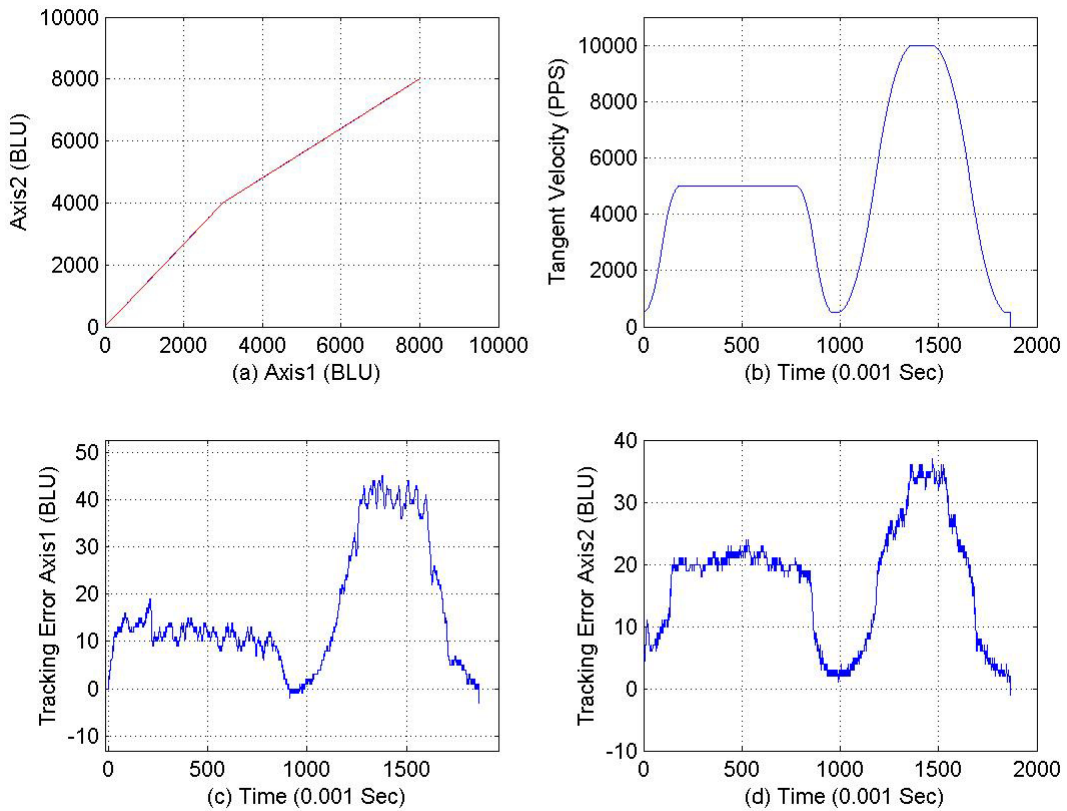


圖 6-17 直線與直線 Blended 速度規劃五

(a)直線+直線兩段連續補間(S-Curve+S-Curve)；(b)切線速度響應；(c) Axis1 追蹤誤差；(d) Axis2 追蹤誤差



■ 直線與直線 Blended 速度規劃六

第一段曲線規劃：直線補間以 S-Curve 加減速，設置各參數後利用 Line2D\_S 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	加速度變化率(K) (PPS/Sec <sup>2</sup> )	終點座標(FP)
5	100	1000	80	625	(3000,4000)

第二段區線規劃：直線補間以 S-Curve 加速，設置各參數後利用 Line2D\_S 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	加速度變化率(K) (PPS/Sec <sup>2</sup> )	終點座標(FP)
5	1000	2000	160	625	(8000,6000)

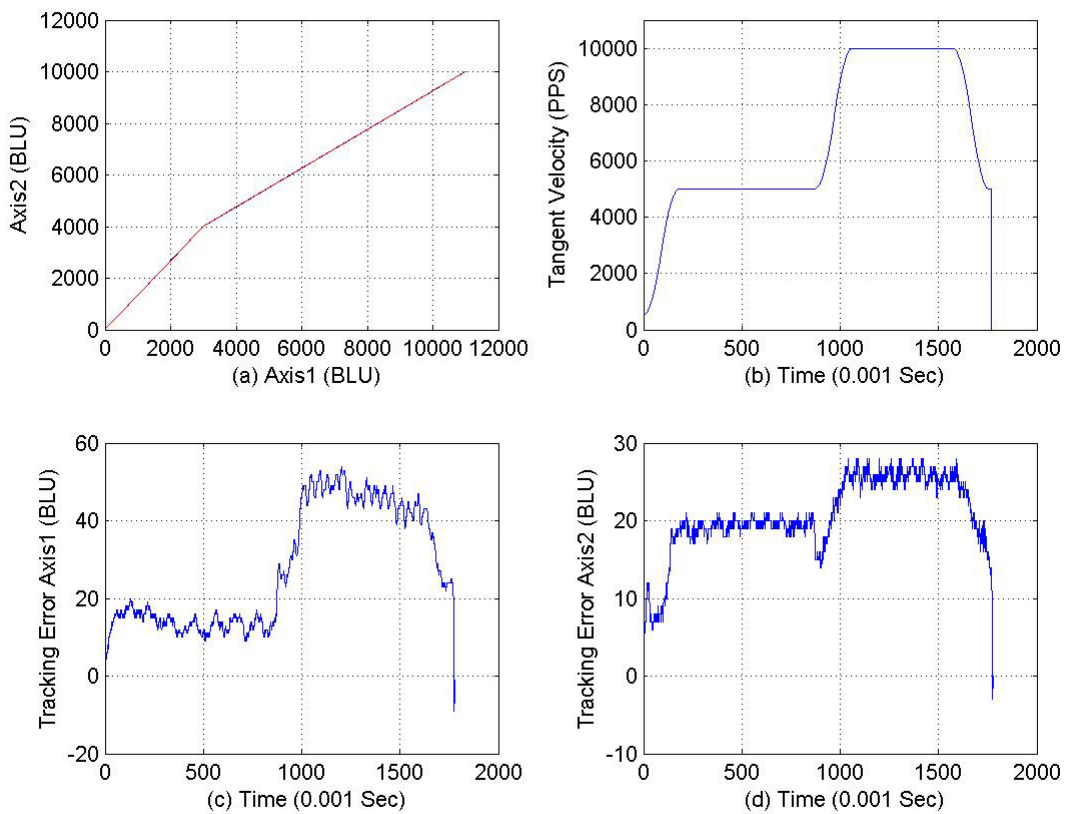


圖 6-18 直線與直線 Blended 速度規劃六

(a)直線+直線兩段連續補間(S-Curve+S-Curve)；(b)切線速度響應；(c) Axis1 追蹤誤差；(d) Axis2 追蹤誤差

## 6.4.2 直線與圓弧連續補間

規劃前後段曲線為 T-Curve 加減速直線補間和 T-Curve 加減速圓弧補間的組合，兩端運動路徑的規劃是由低速至高速，規劃一、三為第一段減速至初速度後才開始第二段的加減速，如圖 6-19、圖 6-21 所示。規劃二、四為當第一段的速度曲線即將從等速段開始減速時，則開始第二段的加減速，第二段的初速度大小值則設為第一段的驅動速度，以讓兩段的承接的速度曲線為連續，如圖 6-20、圖 6-22 所示。雙軸的追蹤誤差雖然隨著驅動速度的增加而變大，但最後的終點誤差皆在  $\pm 1$  BLU 的容許誤差範圍內。觀察發現 MCX314 於圓弧補間的運動時，雙軸運動時所造成的追蹤誤差於換向時較大，(位置響應較差)，且圓弧補間於 T-Curve 無法自動減速(無法自己計算出減速點的值)，需設置人工減速點，並設置減速有效的指令。但針對圓弧補間函式實驗的測試結果，發現人工減速點的設置並沒有預期的功能，因此在末段的加減速規劃時，若末段為圓弧補間時，最後因沒有減速效果而使機台過衝造成的誤差便會較大。

### ■ 直線與圓弧 Blended 速度規劃一

第一段曲線規劃：直線補間以 T-Curve 加減速，設置各參數後利用 Line2D\_T 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	終點座標(FP)
5	100	2000	80	(3000,4000)

第二段曲線規劃：CW 方向圓弧補間以 T-Curve 加減速，設置各參數後利用 CircleCW\_T 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	終點座標 (FP)	圓心座標 (CP)	人工減速點(DP)
5	100	2000	80	(0,0)	(2000,0)	10413



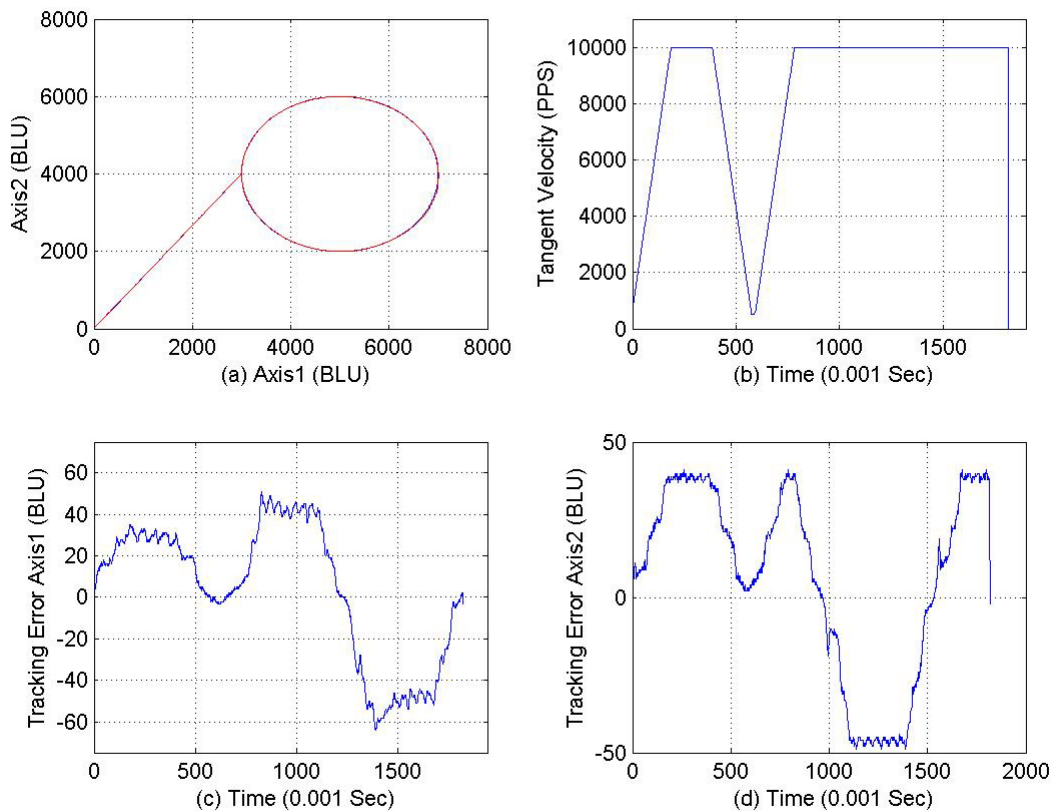


圖 6-19 直線與圓弧 Blended 速度規劃一

(a)直線+圓弧兩段連續補間(T-Curve+T-Curve)；(b)切線速度響應；(c) Axis1 追蹤誤差；(d) Axis2 追蹤誤差

■ 直線與圓弧 Blended 速度規劃二

第一段曲線規劃：直線補間以 T-Curve 加減速，設置各參數後利用 Line2D\_T 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	終點座標(FP)
5	100	1000	80	(3000,4000)

第二段曲線規劃：CW 方向圓弧補間以 T-Curve 加減速，設置各參數後利用 CircleCW\_T 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	終點座標 (FP)	圓心座標 (CP)	人工減速點(DP)
5	100	2000	80	(0,0)	(2000,0)	10413

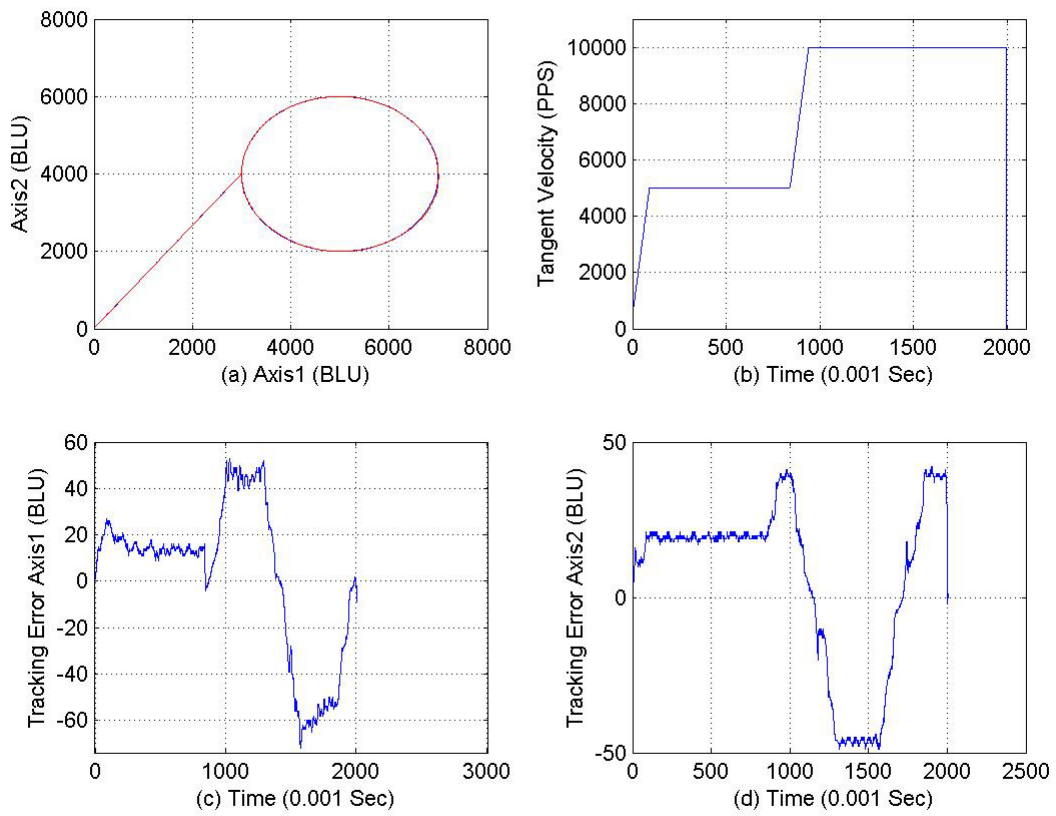


圖 6-20 直線與圓弧 Blended 速度規劃二

(a)直線+圓弧兩段連續補間(T-Curve+T-Curve)；(b)切線速度響應；(c) Axis1 追蹤誤差；(d) Axis2 追蹤誤差

■ 直線與圓弧 Blended 速度規劃三

規劃前後段曲線為 S-Curve 加減速直線補間和 T-Curve 加減速圓弧補間的組合。

第一段曲線規劃：直線補間以 S-Curve 加減速，設置各參數後利用 Line2D\_S 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	加速度變化率(K) (PPS/Sec <sup>2</sup> )	終點座標(FP)
5	100	2000	80	625	(3000,4000)

第二段曲線規劃：CW 方向圓弧補間以 T-Curve 加減速，設置各參數後利用 CircleCW\_T 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	終點座標 (FP)	圓心座標 (CP)	人工減速 點(DP)
5	100	2000	80	(0,0)	(2000,0)	

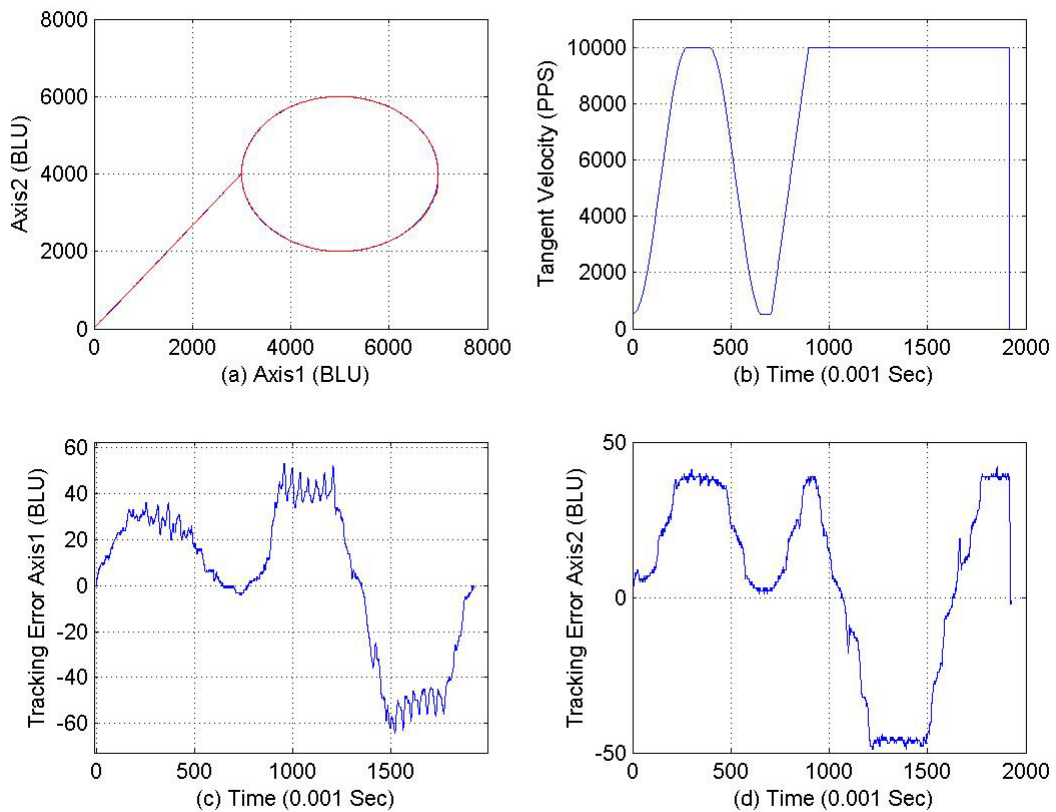


圖 6-21 直線與圓弧 Blended 速度規劃三

(a)直線+圓弧兩段連續補間(T-Curve+T-Curve)；(b)切線速度響應；(c)Axis1 追蹤誤差；(d)Axis2 追蹤誤差

■ 直線與圓弧 Blended 速度規劃四

第一段曲線規劃：直線補間以 S-Curve 加減速，設置各參數後利用 Line2D\_S 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	加速度變化率(K) (PPS/Sec <sup>2</sup> )	終點座標(FP)
5	100	1000	80	625	(3000,4000)

第二段曲線規劃：CW 方向圓弧補間以 T-Curve 加減速，設置各參數後利用 CircleCW\_T 函數：

倍率(M)	初速度(SV) (PPS)	驅動速度(V) (PPS)	加速度(A) (PPS/Sec)	終點座標 (FP)	圓心座標 (CP)	人工減速 點(DP)
5	1000	2000	80	(0,0)	(2000,0)	

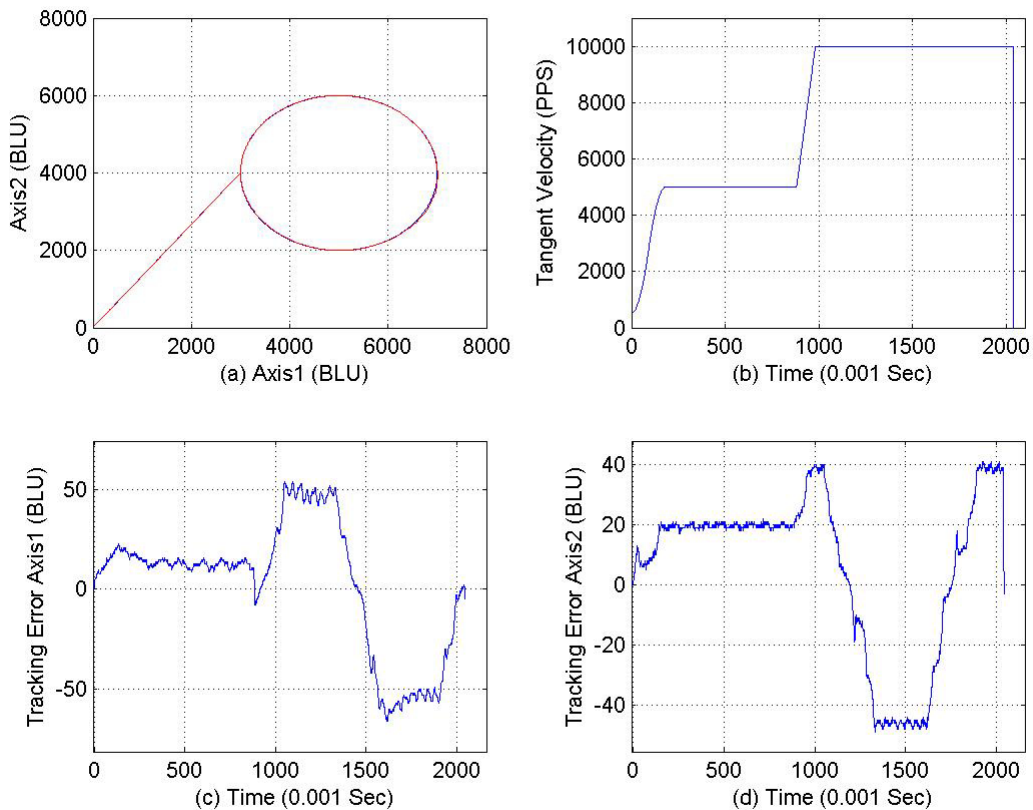


圖 6-22 直線與圓弧 Blended 速度規劃四

(a)直線+圓弧兩段連續補間(T-Curve+T-Curve)；(b)切線速度響應；(c) Axis1 追蹤誤差；(d) Axis2 追蹤誤差

## 6.5 實驗討論和性能評估

一、關於運動函式庫測試的流程是先以 DOS 的靜態函式庫形式驗證，再以動態函式庫的方式包裝成 DLL 檔，引入視窗程式中驗證。實驗機台為單軸步進馬達平台與三軸伺服馬達平台，分別設定為不同的脈波輸出模式 Pulse/Dir 和 CW/CCW 加以控制，皆可以成功的輸出驅動脈波，完成指定的運動命令。

二、經由發現 MCX314 對於圓弧補間的設計方式，發現圓弧補間於 T-Curve 的加減速規劃無法自動減速(無法自己計算出減速點的值)，需設置人工減速點，並設置減速有效的指令。但針對圓弧補間函式實驗的測試結果，發現人工減速點的設置並沒有預期的功能，推測可能為控制卡內部電路設計的問題，MCX314 人工減速命令暫存器的問題，或是運動控制晶片更新版本的問題。

三、至於位元補間功能的實作方式，是以直線插值法產生 0 或 1 所組合成的 16 位元的補間資料，輸入其各指定運動軸的正負方向暫存器，然後呼叫補間驅動指令，以多段的直線近似各種運動路徑。產生補間運動資料的方式已完成，但近似各種曲線的實際應用方式與使用者規劃的方式的實作尚未實現在視窗程式中。

四、連續補間可由直線補間或圓弧補間交互搭配使用，由人機介面中 Interpolation 子視窗操作，可以簡易的規劃出多段的連續補間運動規劃，並可於 Status 子視窗中驗證觀察速度曲線變化與雙軸平面的運動軌跡。

五、關於位置計數器與各軸狀態訊號的顯示功能，利用由 MFC 建立 Timer 的方法成功地將此功能在視窗程式中實現，視窗程式內定為 0.01 Sec 為一個單位時間。但需注意 PC 的 CPU 的處理速度是否夠快顯示與是否有足夠的動態記憶體儲存每個單位時間點的位置和速度資訊。

以下針對 MCX314 功能性的測試結果和 MCX314 於視窗程式的應用整合性討論歸

納如表 6-2 所示。

表 6-2 MCX314 測試與整合應用

功 能 項 目 \ 實 作 方 式		於 DOS 上控制 (Static Library)	於視窗程式上控制 (Dynamic Library)	備註
單軸驅動 多軸同動	Const.	○	○	
	T-Curve	○	○	
	S-Curve	○	○	
直線補間	Const.	○	○	
	T-Curve	○	○	
	S-Curve	○	○	
圓弧補間	Const.	○	○	
	T-Curve	△	△	人工減速點的問題
位元補間	Polling	○	△	不易由視窗程式實作
	Interrupt	○	×	由於視窗作業系統中斷時間並不固定
連續補間	Polling	○	○	直線、圓弧搭配規劃多段多軸連續補間
	Interrupt	○	×	由於視窗作業系統中斷時間並不固定
原點返回運動		○	○	規劃 4 種模式
位置計數器管理		○	○	程式 Timer 設定為 0.01 Sec
I/O 信號管理		○	○	

註：○表示控制良好；△表示尚有問題待克服；×表示無法實作。