



PC-Based 機電整合 軟體控制技術簡介

雷衛台 教授
國立清華大學動力機械系



PC-Based CNC系統

- 定義：

- 在即時核心操作系統WINDOWS/NT環境下，以PC相容硬體為平台之控制器

- 優點：

- 軟硬體資源豐富，系統開發容易
- 訓練及技術普及容易
- 零組件來源豐富，價格便宜
- 系統搭配彈性大，技術自主性及擴充性強

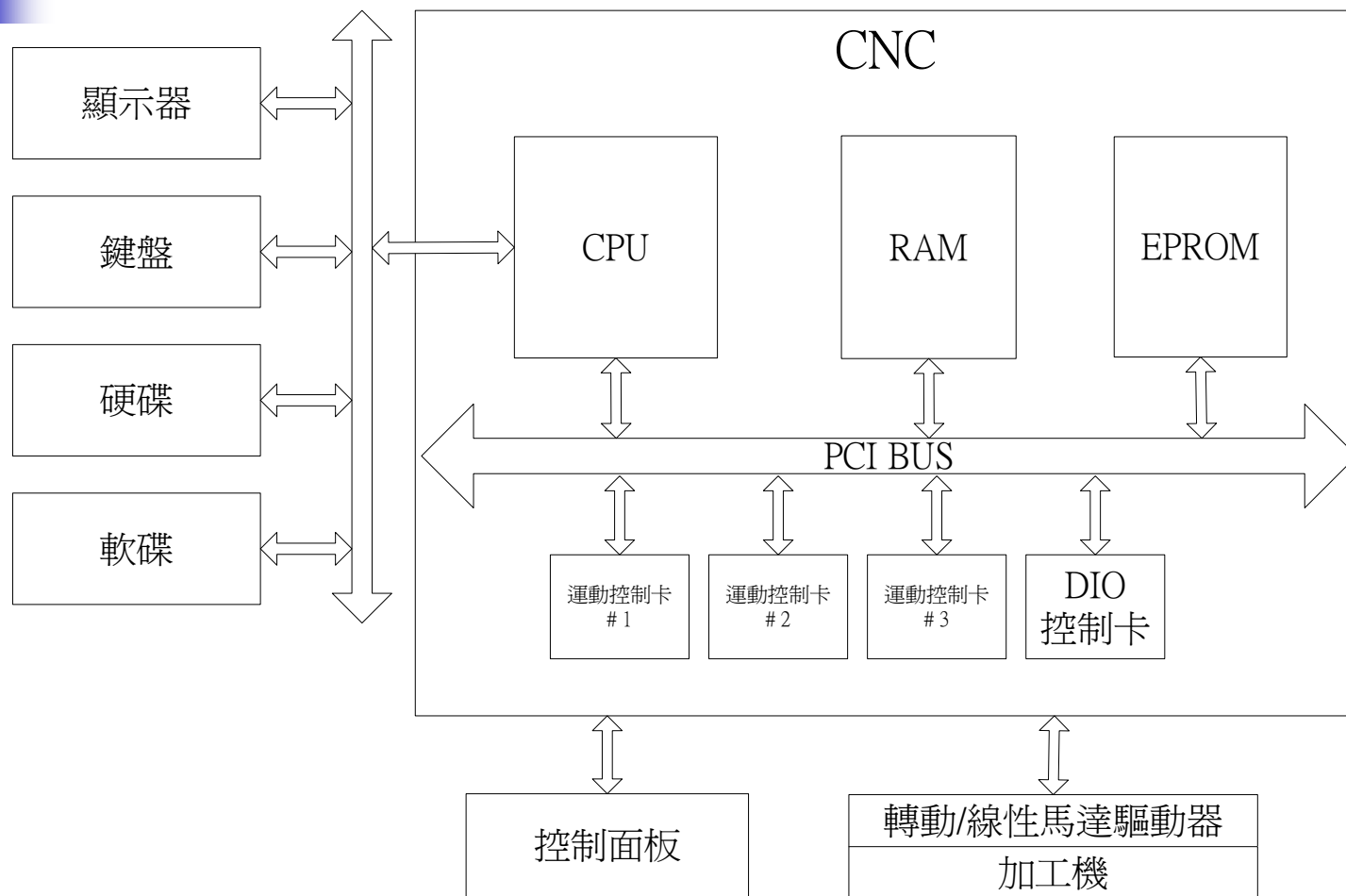


PC-Based CNC系統

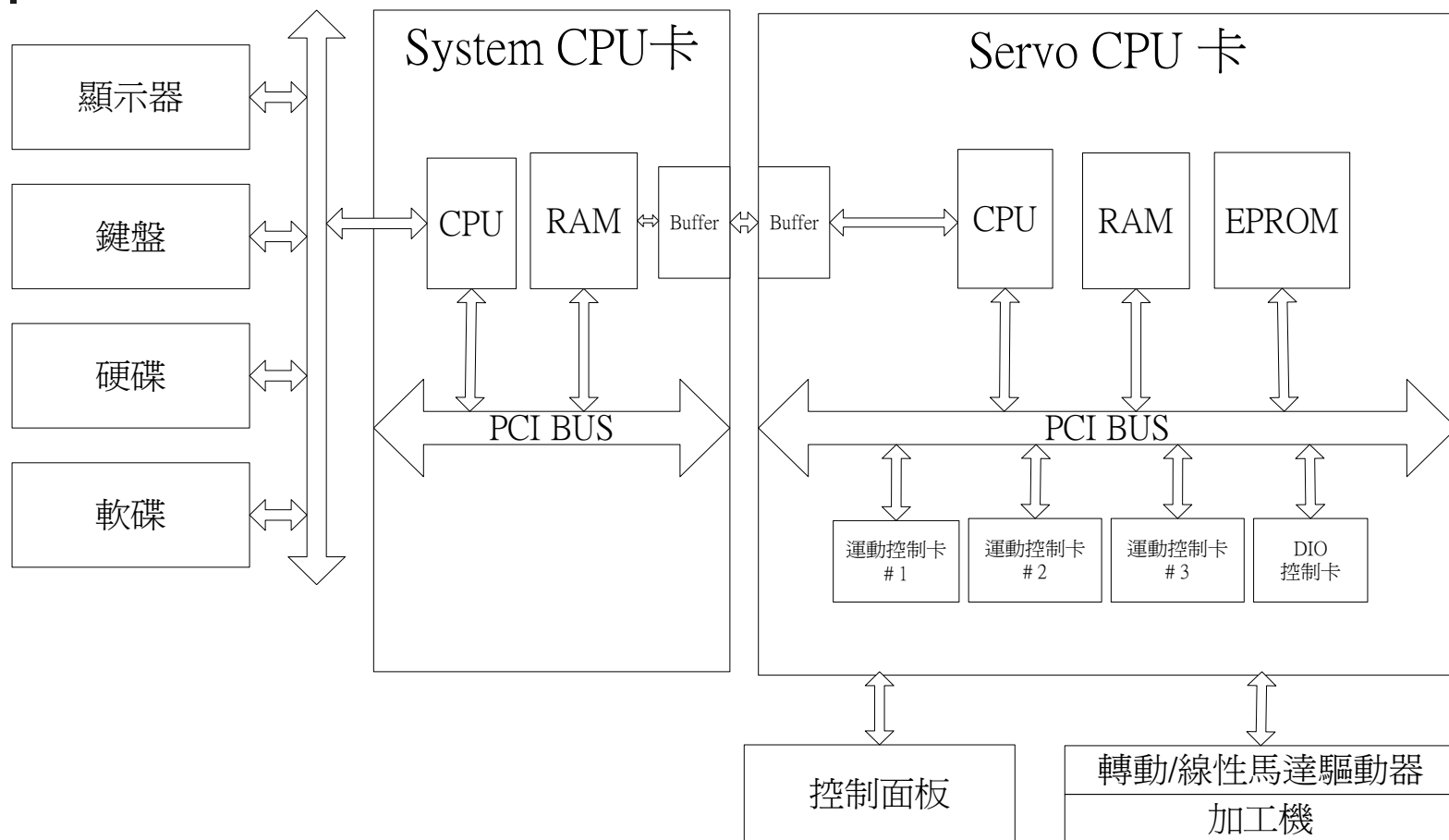
- 缺點：

- 工廠環境下ISA,PCI-Bus系統欠穩定
- →Compact PCI工業級主機板
- Real-Time功能受I/O中斷干擾
- →SYSTEM CPU + Motion Control CPU
- 原始DOS程式庫並非Re-entrant
- WINDOWS非Real-Time/Multi-Tasking OS
- →Real-Time OS 例如 NT/RTX
- 控制器與驅動器並非整合設計(Full Digital)

CNC硬體架構/單CPU



CNC硬體架構/雙CPU





CNC軟體設計基礎

基本資料型別

整數型別

Bit	Byte	Unsigned	Signed
8	1	0...255	-128...+127
16	2	0...65535	-32768...+32767
32	4	0...4294967295	-2147483648...+2147483647
n	n\8	0... 2^n-1	$-2^{n-1}...+2^{n-1}-1$

浮點數型別

Bit	Byte	數值範圍	有效位數
32	4	$\approx \pm 10^{38}$	7
64	8	$\approx \pm 10^{308}$	15



CNC軟體設計基礎

資料型別定義

- 例如CNC預設最大行程為20m，軟體最小單位為0.1nm，則最大相對解析值為 $20\text{m}/0.1\text{nm}=2*10^{11}$ 。在整數型別的選擇上，就必須使用大於32位元的整數型別，是否選擇到64位元則視電腦軟硬體是否支援而定，目前市面上普遍為32位元的系統。以浮點數來看，32位元的精度範圍就無法達到基本要求，必須採用64位元的倍精準浮點數才行。浮點數格式定義在不同廠商有不同之定義。
- 如果單純以整數型別來當作系統變數的儲存型別，則無round與truncate的問題發生，若以浮點數型別當作系統變數則有round與truncate的問題發生。



CNC軟體設計基礎

基本單位定義

- 早期NC程式輸入是以Increment為基本單位，例如 $1\mu\text{m}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ 。此NC程式的X、Y、Z等座標輸入值均以整數型別出現，現因硬體計算速度與作業系統的支援，多以浮點數型別輸入座標值。
- Position Control Loop模組中，讀入的位置值是整數值，因此整個模組均以整數型別運算為主。
- 混合使用整數型別與浮點數型別時常將餘數先儲存起來，以避免round誤差產生。



CNC軟體設計基礎

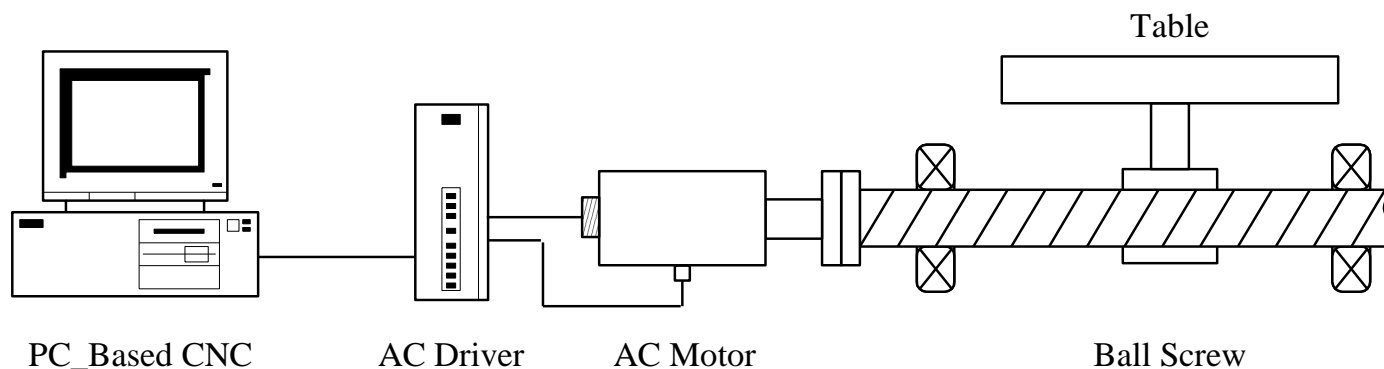
系統發展工具

- 編輯器(Editor)
- 編譯器(Compiler)
- 連結器(Linker)
- 除錯器(Debugger)
- 建構器(Builder)
- 圖形工具(Graphic Tools)
- 即時多工核心(Re-entrant Real-time Kernel)
- 程式語言(Assembly、C、C++)

運動控制系統設計基礎

進給驅動機構

滾珠螺桿驅動與線性馬達驅動
控制器+驅動器+馬達+位置感測器



運動控制系統設計基礎

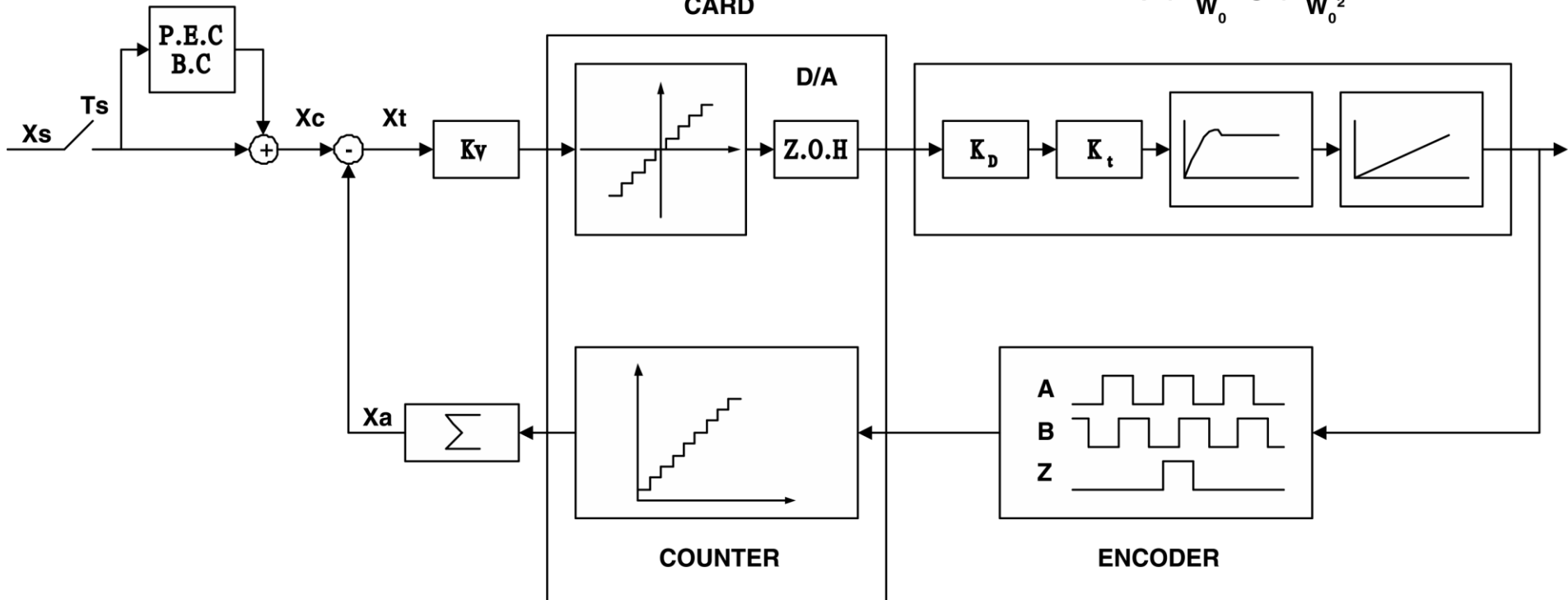
關鍵參數示意圖

P.E.C : Pitch Error Compensation

B.C : Backlash Compensation

MOTION
CARD

$$\frac{1}{1 + \frac{2D}{W_0} S + \frac{S^2}{W_0^2}} \frac{1}{S}$$



運動控制系統設計基礎

關鍵參數表

關鍵參數	符號	單位	標準值／範圍
最大速度	V_{\max}	mm/s	500-5000
最小速度	V_{\min}	mm/s	0.02 -5
D/A解析度	B	Bit	12, 16, 24
D/A輸出範圍	M	Volt	$\pm 10V$
位置解析度	μ	$\mu\text{m/inc}$	0.001 - 1
自然頻率	ω_0	1/s	100 – 1000
阻尼係數	D	-	0.4 – 0.7
驅動放大係數	K_D	rpm/volt	100 – 600
減速比	K_r	-	
螺桿節距	p	mm/rev	5 - 60
線性轉換係數	K_t	mm/rev	$K_r * p$
行程	L	mm	2000-20000
解碼器計數範圍	E	Bit	32
速度放大係數	K_v	1/s	$0.2\omega_0$
相對增量	dE	μm	

運動控制系統設計基礎

關鍵參數計算公式

$$V_{\max} = p \times \omega_{\max}$$

$$V_{\min} = K_v \times Q$$

$$B = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V_{\max}}{K_v \times Q}$$

$$\Delta S_{\min} = V_{\min} \times T_s$$

$$V_{\max} = \frac{2^E}{T_s} \times Q$$

$$B = \frac{150\text{m/min}}{100\text{s}^{-1} \times 1\mu\text{m/inc}} \approx 25000 \quad 16\text{Bit D/A}$$

ω_{\max} 為馬達最大轉速(rpm)

p 為螺桿節距(mm/rev)

$K_v(1/s)$ 為速度放大係數與動態有關

Q 為位置解析度(mm/inc)

$T_s(s)$ 為即時控制的取樣時間

E 為編碼器計數位元數



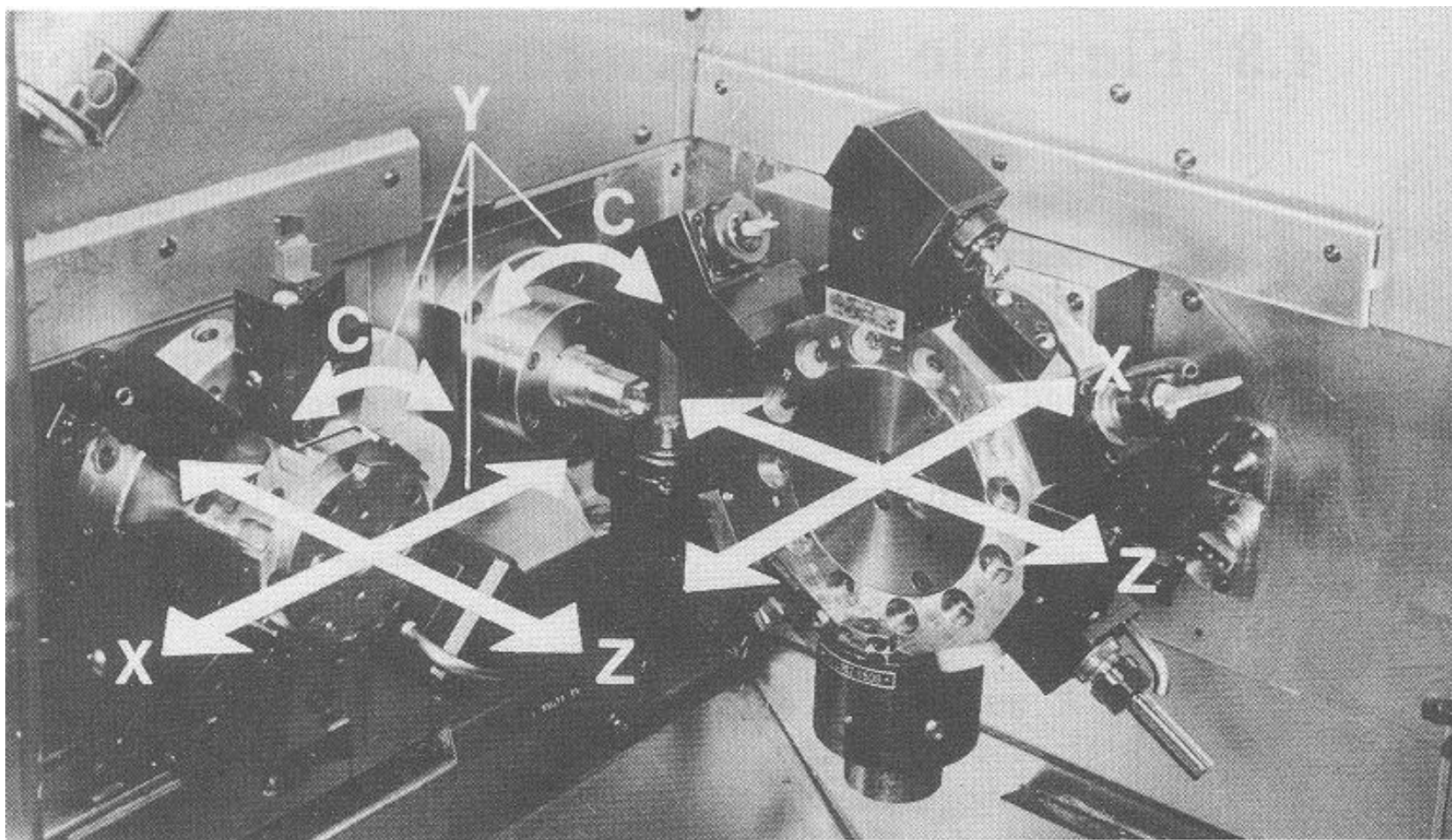
運動控制系統設計基礎

CNC 控制器之控制軸數

- 定位裝置：一軸
- 車床：二軸
- 銑床：三軸
- 五軸銑床：五軸
- 史都華平台機器：六軸
- 織布機：32軸
- 加工中心：N軸

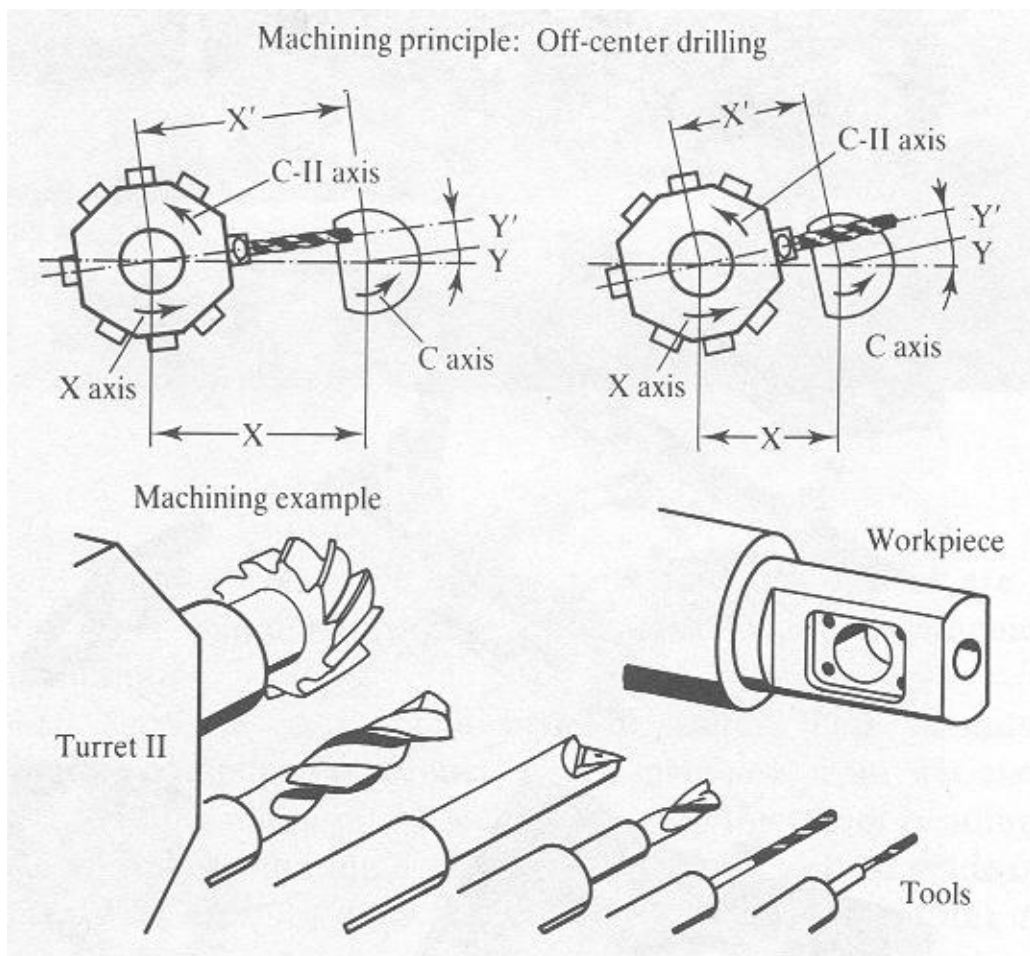
運動控制系統設計基礎

Index雙刀座CNC車床



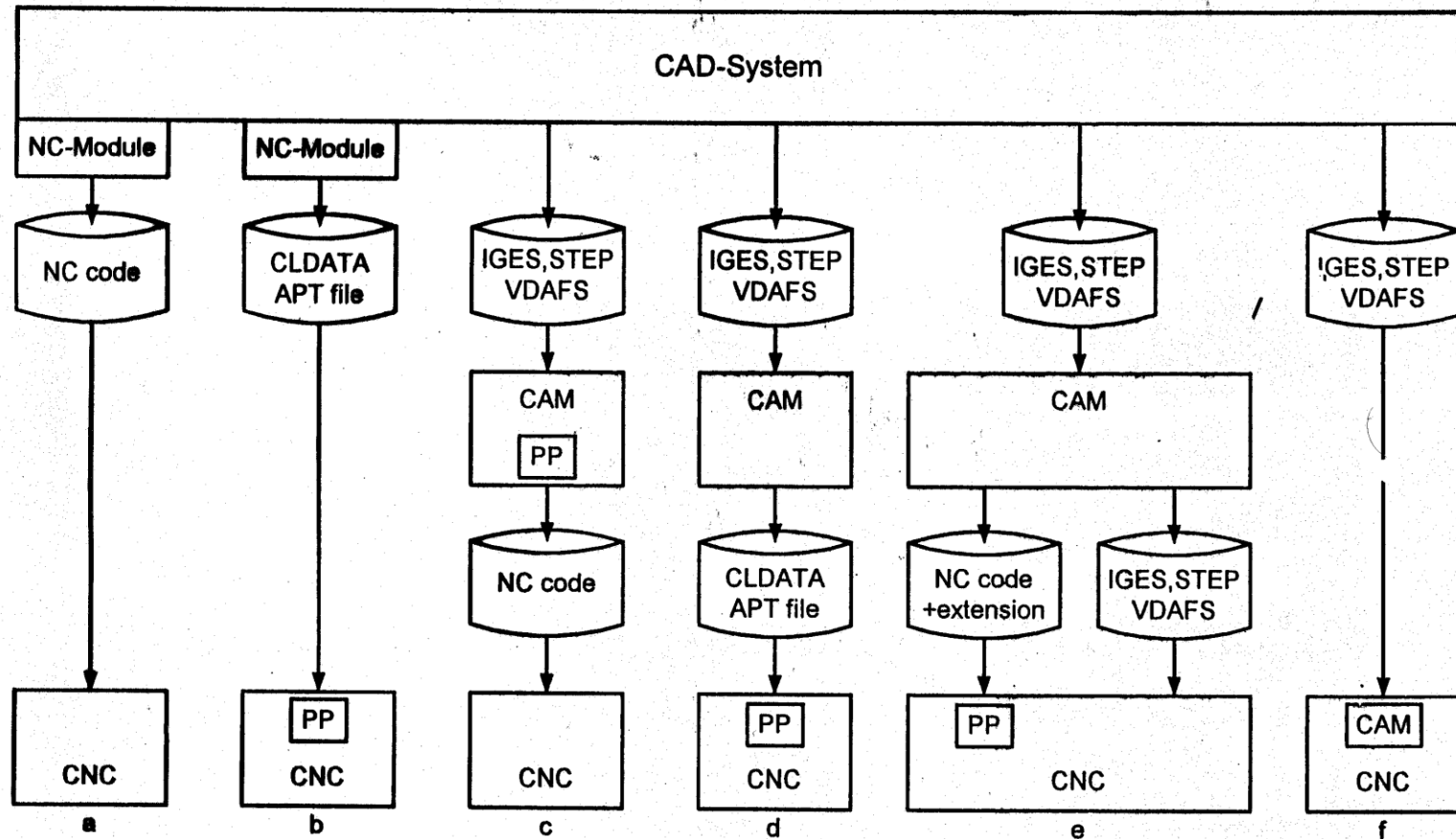
運動控制系統設計基礎

Index雙刀座CNC車床



CNC軟體架構

CAD-NC Integration





運動控制系統設計基礎

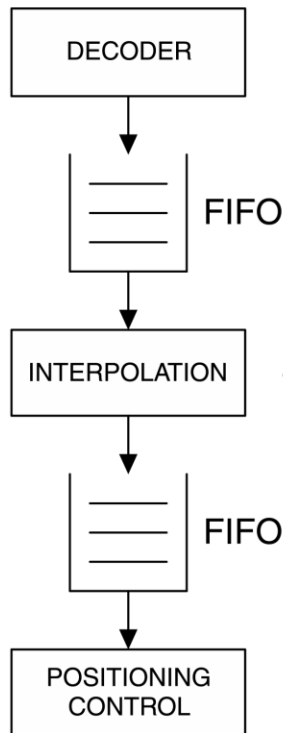
多軸組設計概念

- 就機器的複雜度，運動軸主要可分為下列四類：
 - 單一軸：基本定位控制
 - 多個直交軸：三軸工具機的位置控制
 - 多個耦合軸：機器手臂
 - 多個耦合軸的位置與方向控制：五軸工具機或機器人
- 開發CNC控制系統時，多軸組的設計有其重要的意義。如果系統具有軸組定義及變換(configuration)可能性，當製造系統流程改變或是發展新的多軸控制機器時，只需將不同軸組搭配定義，在相關的程序處理後，便可快速的完成系統的變更，CNC系統軟體完全不需任何更動。

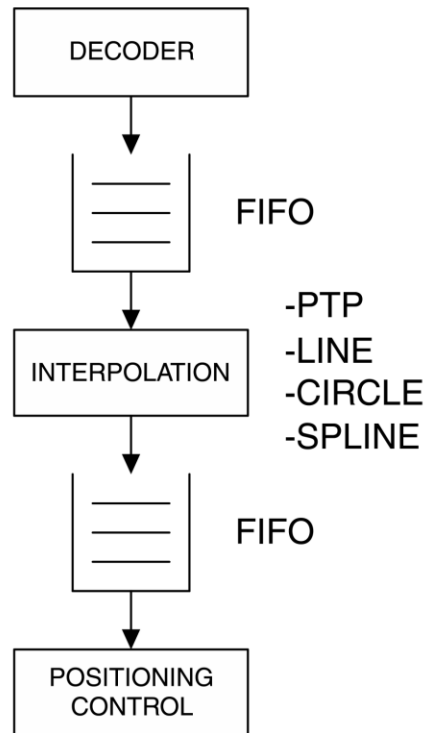
運動控制系統設計基礎

基本軸組(NC Channel)

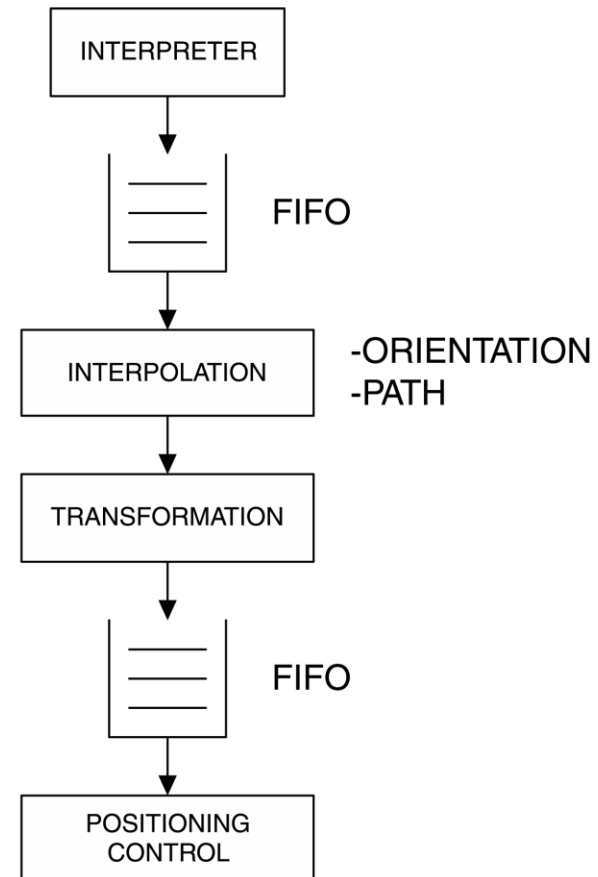
SINGLE-AXIS POSITIONING



CONTOUR CONTROL



ROBOT FIVE-AXIS



CNC軟體基本架構



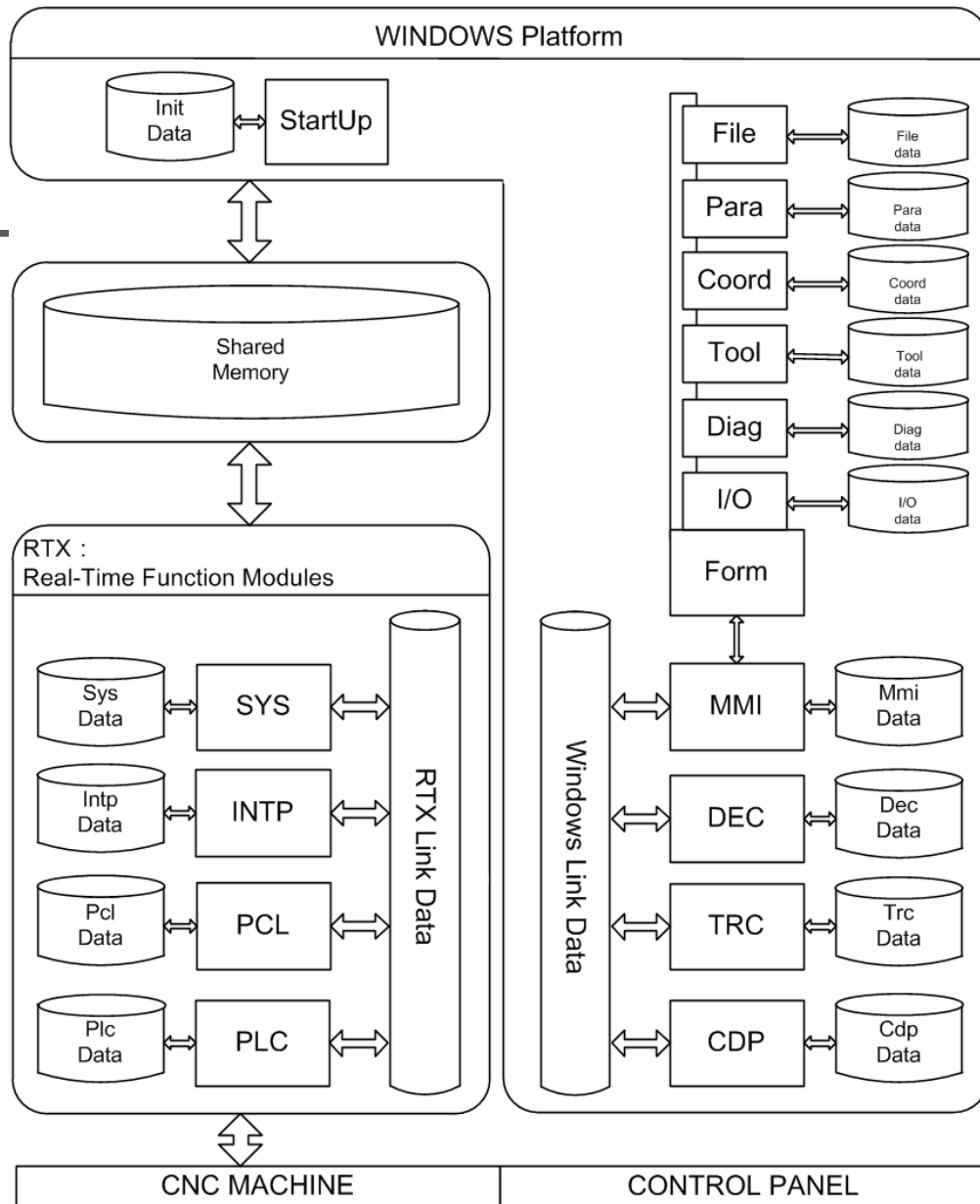
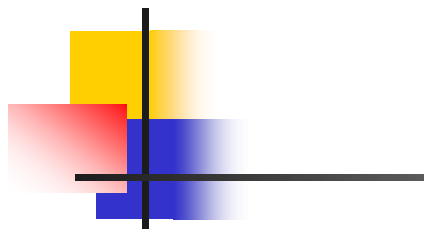
- 人機界面(Man Machine Interface)
- 系統控制(System Sequence Control)
- NC解碼器(Control Data Preparation)
- 刀具幾何尺寸修正(Tool Radius Compensation)
- 幾何數據處理(GEO)
- 運動控制(Position Control)
- 可程式邏輯控制(Programmable Logic Control)



CNC軟體架構

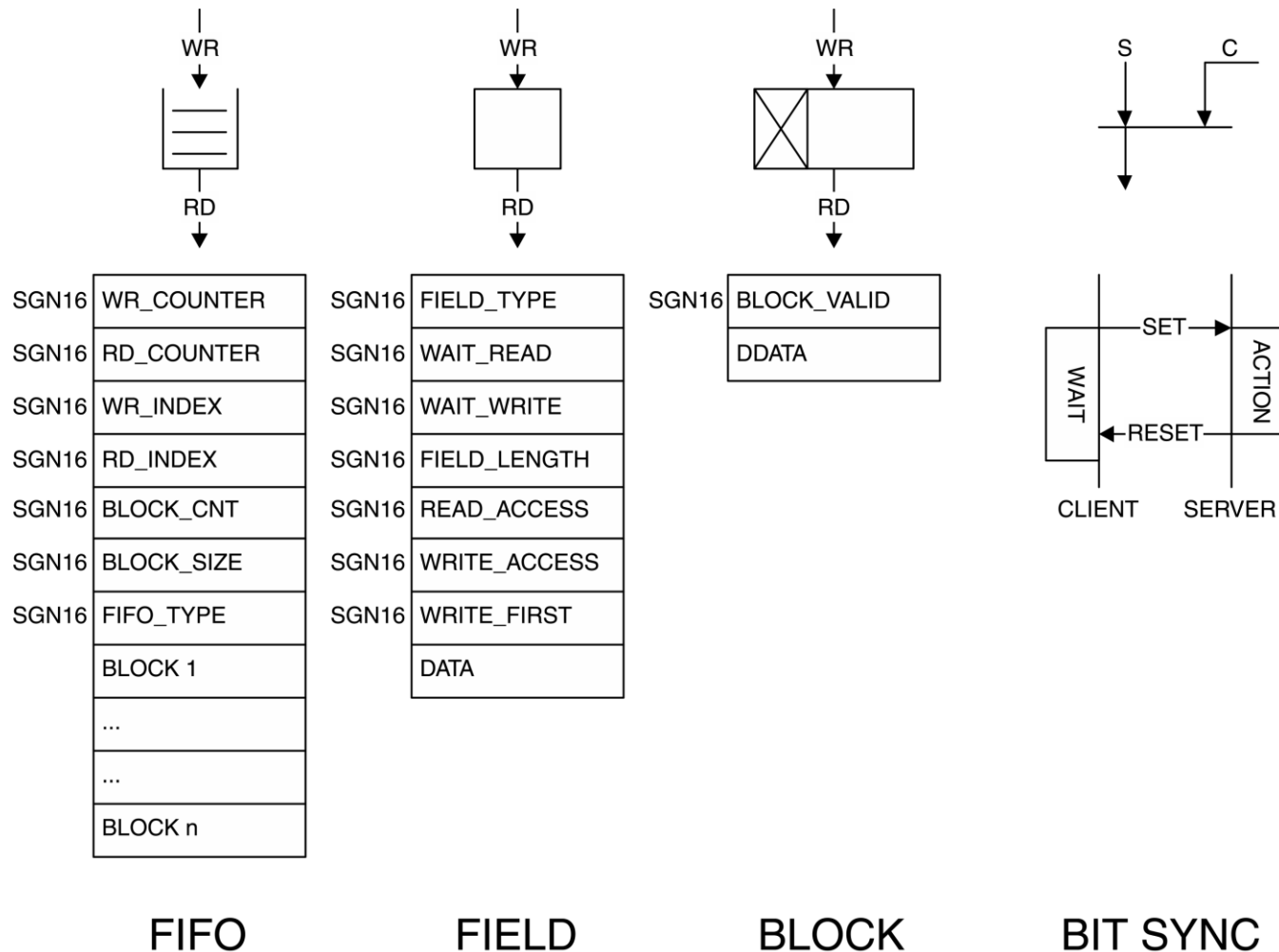
數據介面定義

- 不論是使用主動式運動控制卡的硬體中斷還是作業系統本身的軟體中斷，即時模組與非即時模組間的資訊交換最好通過一個中性介面來溝通，主動式運動控制卡例如DSP運動控制卡大都利用DPRAM，而軟體即時系統如RTX則必須透過Shared Memory來進行。



CNC軟體架構

數據交換機制

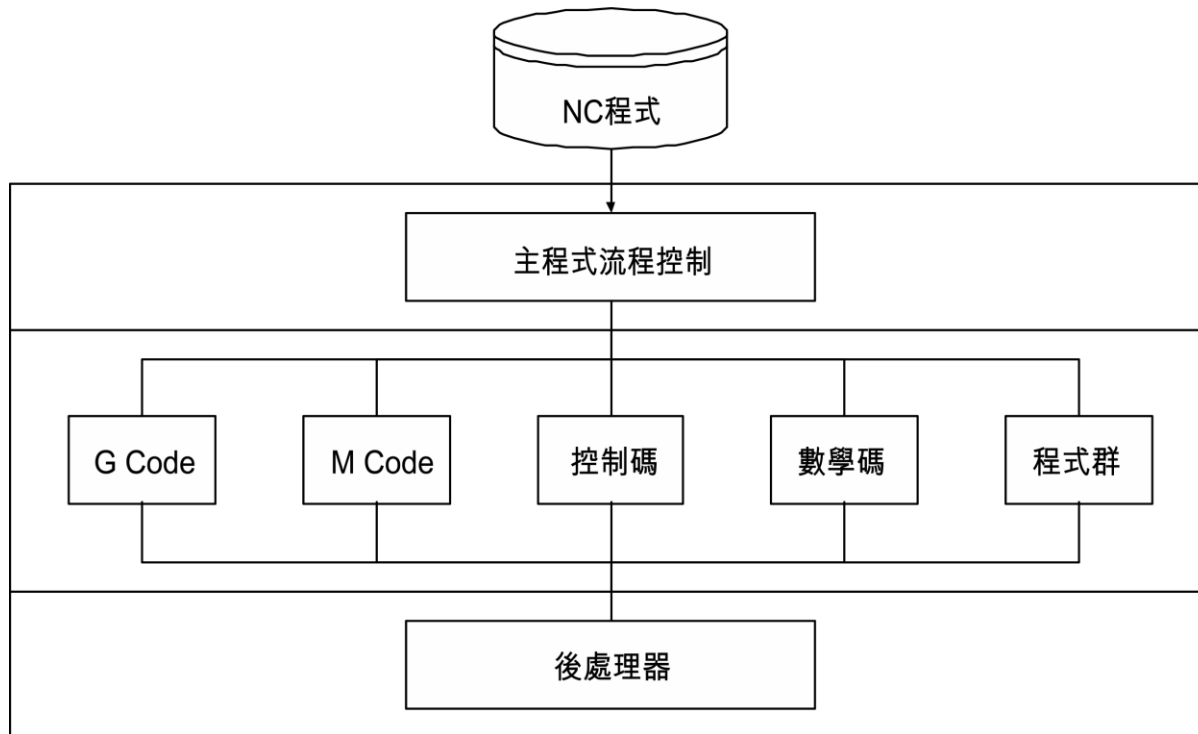




NC format

- N
- G00, 01,02,03,04,06, 90/91, 53-59, ...
- XYZ
- IJK
- F,S,
- T,D
- M00,01,06,30

解碼器功能架構



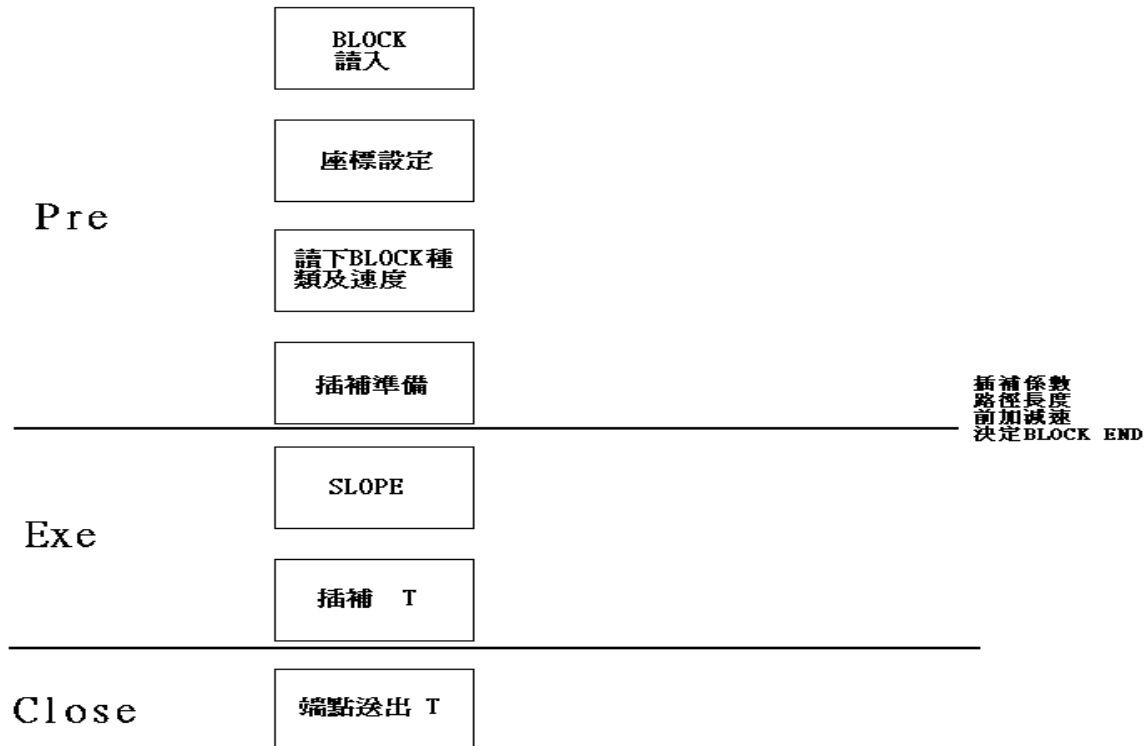


插補器Interpolator

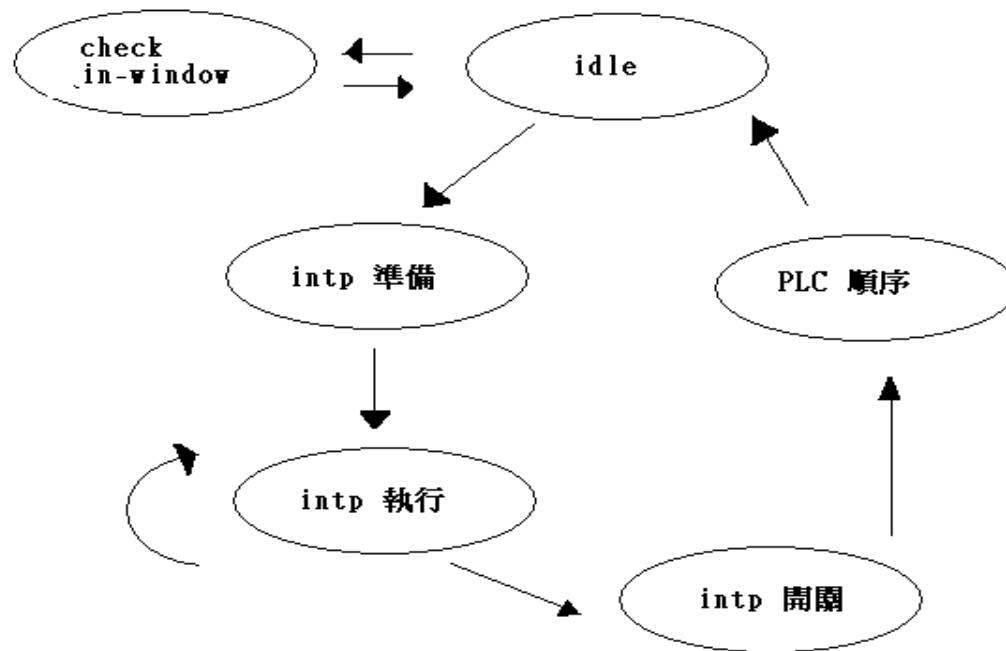
- Real-time Processing of motion and function block
- Acc/dec scheduling
- Coordinates calculation
- Kinematic transformation
- Function block processing
- Sync with PLC



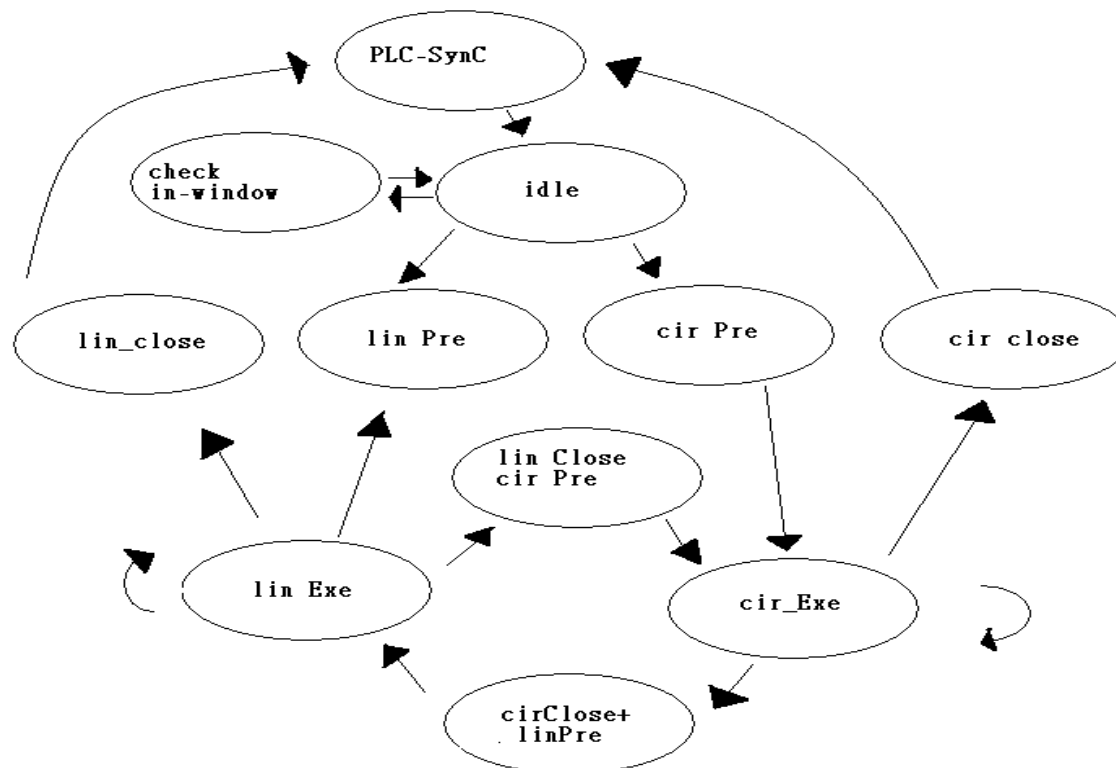
NC Block插補程序分析



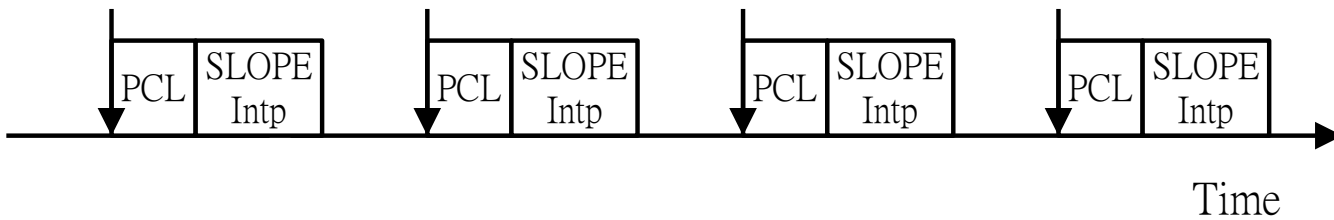
Single NC block processing



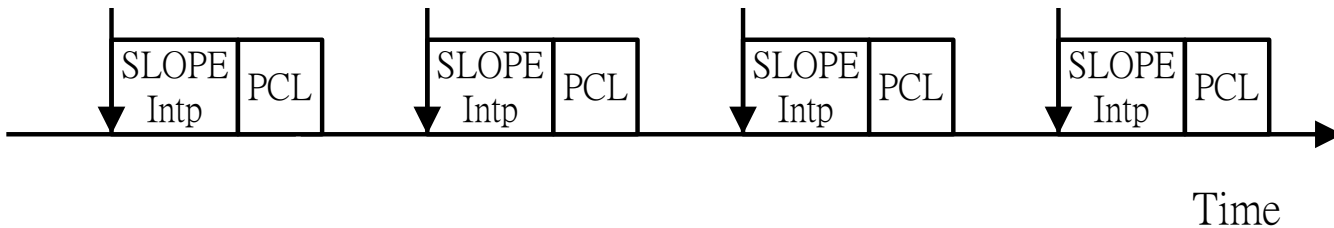
Linear + Circular NC Block Processing



Interrupt工作時序圖



(a)



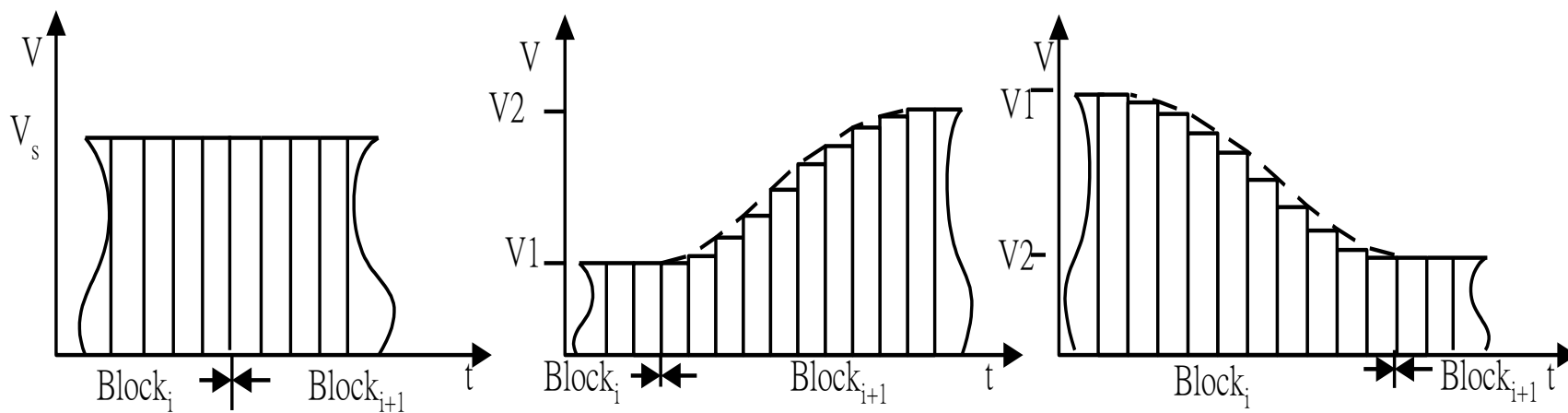
(b)



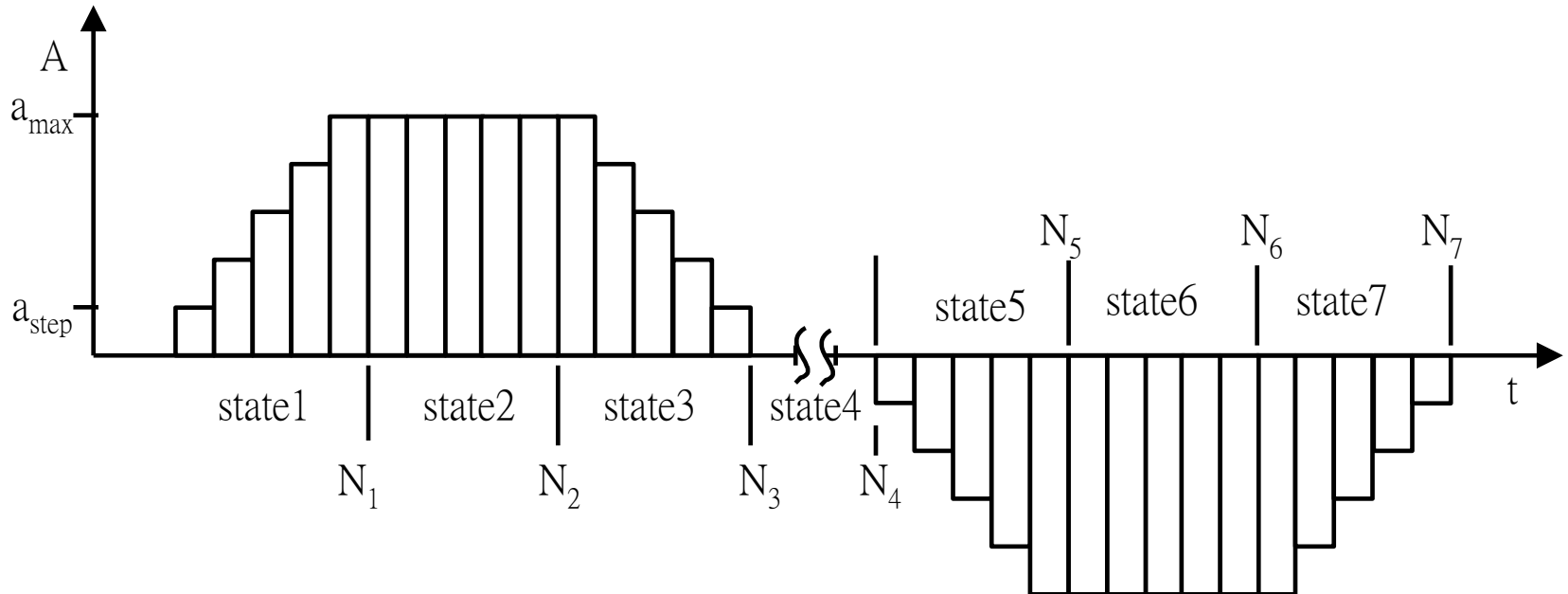
Slope for Acc/dec

- 速度規劃
- 減速時間點研判
- 結束NC單節(餘值處理)
- Real-Time Override處理
- Feed-Hold處理

餘值處理

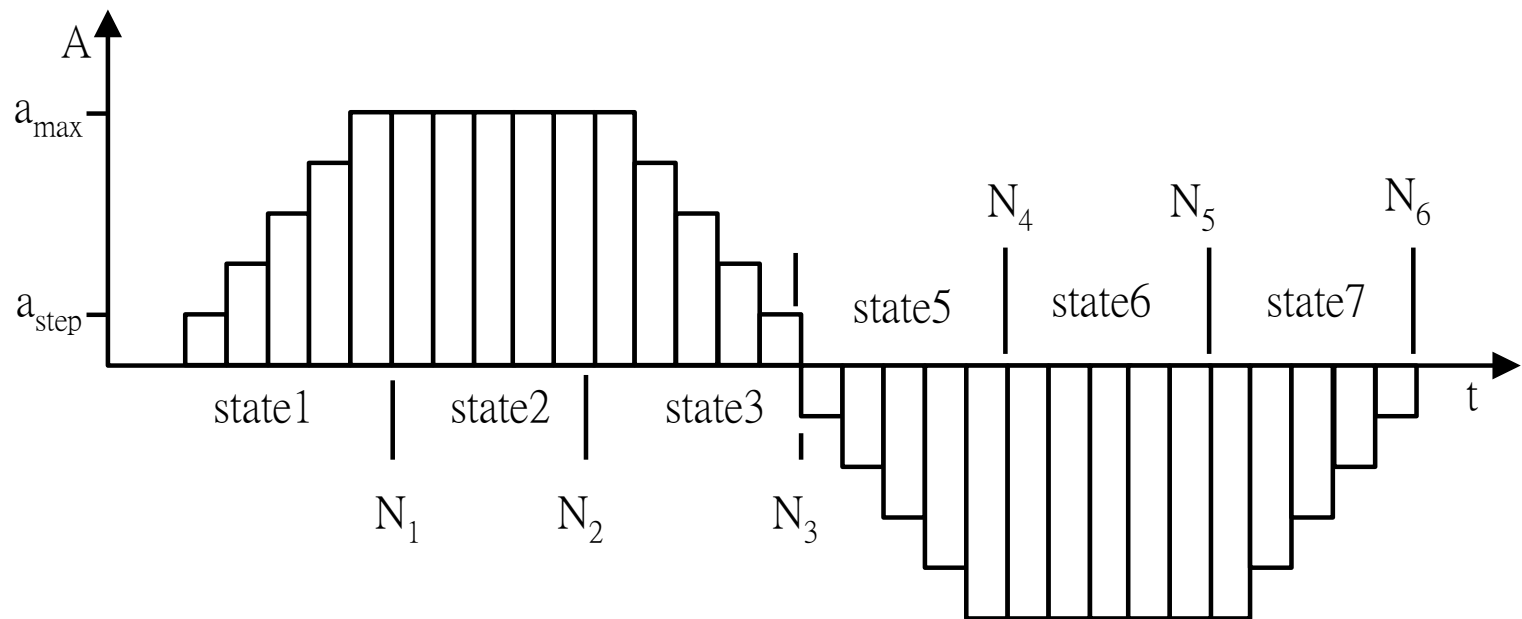


Velocity scheduling: S-Curve Slope

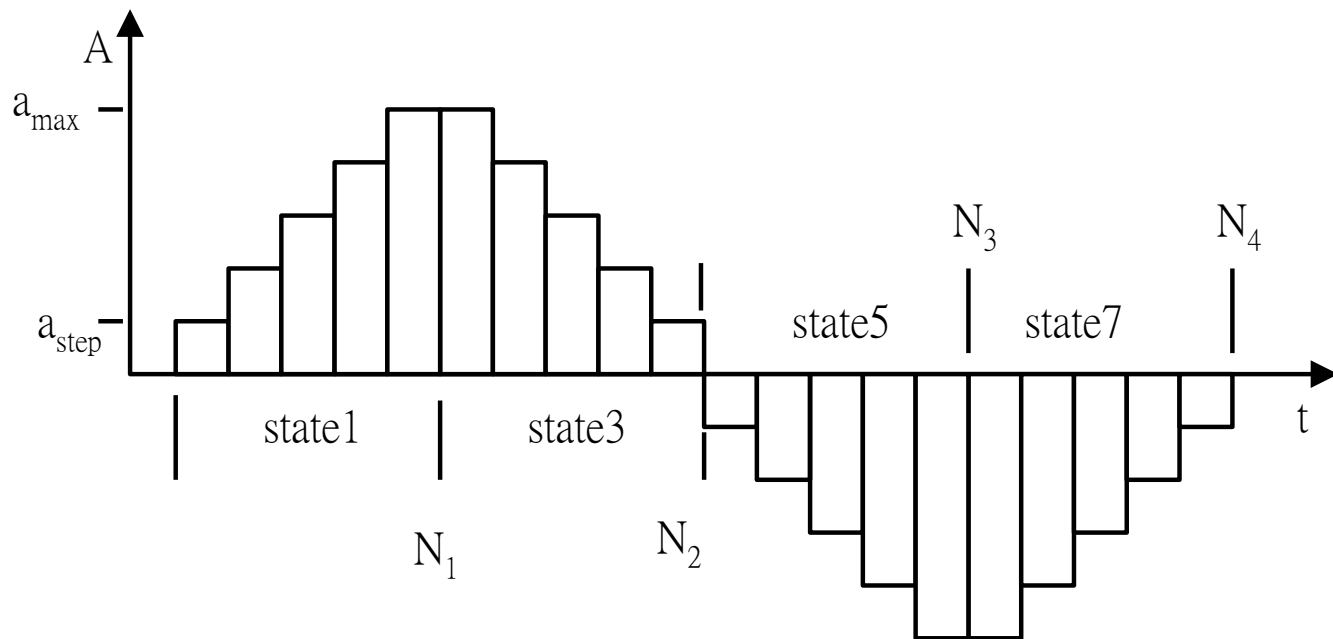




S-Curve Slope

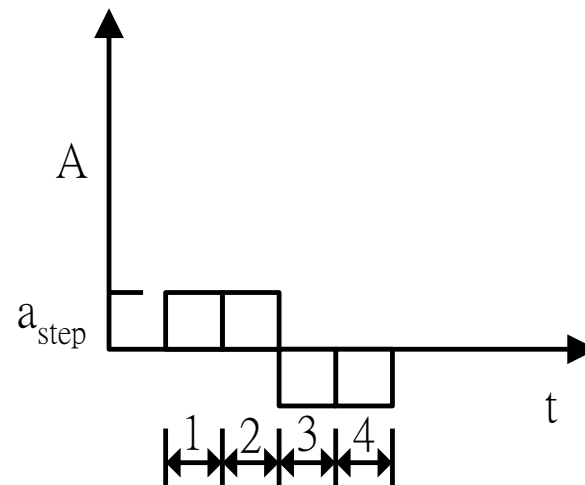


S-Curve Slope





S-Curve Slope





結論

- 本報告針對CNC運動控制系統設計時必須考慮的因素進行分析與介紹，最小的基本單位，CNC關鍵參數等都會直接影響到機器的功能與規格。
- 為了使CNC系統更有彈性，多軸組的架構設計是一個重要的關鍵，CNC系統由基本軸組物件搭配而成，可以大幅縮短不同產業機器控制系統開發的時間。
- 由於CPU處理速度大幅提升，加上CNC硬體元件日趨穩定，CNC門檻已不是高不可攀，掌握運動控制系統軟體核心技術，開發具創意特色功能之機器。