

國立臺灣大學電機工程學系

控制科學領域介紹

By 連豐力 on June 26, 2005

控制是一門科學，也是一門藝術，同時，它也是一項哲學。控制學所討論的課題並不只侷限於電機電子的系統，它所討論的範圍包括：機械、土木、化工、航空太空等工程系統與自然界的生物系統與環境系統。控制學的研讀主要包括三個重要部曲：一、模式建立 (Mathematical Modeling)，二、系統分析 (System Analysis)，三、迴授設計 (Feedback Design)。模式建立是將所要瞭解的系統以符合物理學或是生物學原理，利用相關的數學工具以建立一組可以表現此系統之動態行為的微分方程式或是差分方程式；系統分析乃是利用依據系統理論所發展出來的定理進一步瞭解以數學方程式所代表的系統，其行為表現特性為何；如果上述分析的結果並不符合系統運作的需求，則必須要進一步利用迴授原理進行控制設計，以利整體系統符合運作上需求。

舉例來說，如果您設計了一輛自行車，而且您需要瞭解您的自行車的性能如何？則在第一部曲，您需要利用您在物理所學的運動定律與動力原理，寫出一組描述此自行車的數學微分方程組。此方程組中變數的數量，乃是依據您所要描述的系統範疇而有所不同。例如：想要瞭解此自行車上任何會變動的變數，則可能需要數十個變數，其中包含：自行車在二度空間的 x, y 座標與速度、兩輪本身的轉速，前後齒輪的轉速、充氣輪胎運轉時上下震動的震幅大小等。如果只要瞭解在二度平面上的運動軌跡，則可能需要數個變數，例如： x, y 座標值和速度與自行車傾斜的角度等。在這些變數中，一般可以分類為：輸入變數，輸出變數，以及內在變數。輸入變數是可以用來改變此系統狀態的變數，例如：在自行車中的把手，踏板。輸出變數則是可以用來量測到的變數，例如：前進速度。內在變數通常指的是無法直接量測到的變數，例如：前後輪的轉速，或輪胎上下震動的震幅等。

接著在第二部曲中，則是利用系統理論，進一步分析此組代表自行車的微分方程式，以瞭解所代表的自行車其特性為何。其中的系統特性包括：穩定性，可控制性，可觀察性等，以及在時間軸域與頻率軸上的規格需求：例如：rise time, settle time, overshoot, bandwidth 等。所使用到的工具包括：觀察 impulse response 所展現出來的響應圖，或者是利用 Fourier transform 觀察此系統在頻率軸上所展現出來的頻譜響應特性。另外，亦可以利用 Laplace transform (continuous-time) z-transform (discrete-time) 的轉換進而觀察此系統在 s -domain 或者是 z -domain 上，其 pole 與 zero 的位置，此位置乃是代表此系統的穩定度與其他性能上的表現。另外，將描述此自行車的微分方程組轉變成利用矩陣與向量的形式所表示的

動態方程式，其中幾個代表性的矩陣，其特徵值(eigenvalue)與特徵向量(eigenvector)與此系統的穩定度與相關性能上的表現亦有密切的關係。

如果上述的分析結果不符合需求，例如：系統為不穩定，rise time 太慢等，則需要利用控制第三部曲的迴授設計法則。迴授設計的基本原理乃是希望能夠改變或者是改善原先系統所存在的基本特性，例如：使不穩定的系統變成穩定，讓反應慢的系統變快，讓震盪的系統變成穩重等。以自行車為例，經過第二部曲的分析可得知，自行車唯一不穩定的系統，也就是，不施以任何外加的力量，自行車會傾倒，將不會乖乖的往前走。因此，一個熟練的車手將會藉由把手與踏板的“適時地”搭配，才能把自行車操控到理想的狀態。反過來說，如果您是自行車的初學者，則您所操控的自行車將會搖搖擺擺，甚至會偶而倒下來（變成不穩定了）。

所以，控制組的各個課程即是在探討上述的各項法則與原理。其中，“控制系統”是在討論基本的模式建立法則（第一部曲）與利用在信號與系統中所討論到的s-domain的特性與在本門課所討論到的根軌跡法（root locus），以及在頻率域的頻率響應（Bode plot etc.）法則等，進行系統分析（第二部曲）與迴授設計（第三部曲）。“線性系統”則是利用微分方程與線性代數這兩門課中所討論的工具，拿來進一步分析系統的特性（第二部曲），以及提供迴授設計的原理（第三部曲）。“控制系統”與“線性系統”這兩門課的主要分別是前者著重於單一輸入與單一輸出的系統，以及發展於較早期的古典控制法則（classical control），這些法則通常是不需要電腦的輔助，利用簡單的紙筆即可進行分析與設計，後者則是結合矩陣與向量等易於電腦運算的工具等的現代控制法則（modern control），進行多輸入多輸出的大型系統之分析與設計。上述兩門課主要是在探討連續時間上的課題，針對離散時間的同類問題則是在“數位控制”這門課中討論。

控制組在研究所的主要核心課程包括：

系統理論部分：

高等線性系統：針對較深入的線性系統理論。

非線性系統分析：顧名思義，系統非線性系統的相關系統理論。

離散事件動態系統：主要在描述依據事件發生之因果關係所建立的系統行為模式。

混成系統與控制：主要討論系統行為變化模式依據的不僅僅是與時間相關的，同時與所存在的狀態有關的變數。

高等控制部分：

最佳控制：利用最佳化理論設計各項需求規則皆為最佳化的設計法則。

強健控制：探討系統中存在不確定參數時，藉由瞭解此不確定性參數之最大值，設計一能夠強力克服此不確定性之控制器。

適應控制：探討系統中存在不確定參數時，藉由系統參數的即時調變，適時地調整控制輸入的大小，維持整體系統的性能。

隨機控制：探討系統中存在不確定變數時，利用機率與統計等工具設計迴授控制控制，維持整體系統的性能。

智慧型控制：探討智慧型迴授控制法則設計，主要是模糊理論與運算。

類神經控制：探討利用類神經法則設計迴授控制。

系統應用部分：

機器人學、彈性製造系統、半導體製程、遙測原理、精密運動控制、衛星姿態控制與定位、生產自動化等。

相關研究課題與計畫：

控制組早年的發展重點偏重於馬達、機器人等的控制。經過多年來的演化，目前的研究多元而且有趣，兼顧了理論與應用。屬於理論層面有學習式控制、類神經網路、多變數系統、廣義系統、資料融合、適應控制、非線性控制、強健控制、最佳化技術與原理、電腦整合製造系統、離散事件動態系統、決策法則、智慧型控制……等。屬於應用層面的包括飛行控制、肌肉運動控制、立體視覺、遙測譜像判讀、衛星定位、無人載具運動、航機導航、撓性機械臂控制、馬達速度控制、磁浮平台運動、影像追蹤、自動駕駛儀設計、指向系統研製、雙軸炮座轉動控制、半導體製造自動化 與管理、網路控制與管理、航機排程、精密平台、硬碟機、防震平台、光碟櫃系統……等。本組現有七位專任教授：林巍聳、張帆人、傅立成、馮蟻剛、張時中、陳永耀和連豐力。兼任教授二位：郭德盛與林渝寰，兼任副教授一位：蔡銘昌。本組除了大學部之自動控制實驗室以外，還有五間研究所實驗室。分別為智慧型及精密運動控制實驗室、尖端控制實驗室、高等感測與電腦控制實驗室、控制與決策實驗室、以及網狀系統控制實驗室。本組研究生畢業後大多進入工業界從事實務工作，或是前往學術界從事理論 研究與教學服務。大學部同學對於控制工程有興趣者，可以選修控制系統、線性系統、信號與系統、系統工程、遙測原理……等課程，兼修控制實驗，再依興趣進一步選修研究所程度之課程。近期發展重點為：線性、非線性及離散事件動態系統，適應、強健、智慧等控制理論，精密伺服控制在國防及工業上之應用，機器人學與自動化工程，遙測及全球定位技術，彈性化網路住家、通訊網路及網路式系統等新興系統之智慧型自動化與控制。

控制組實驗室：

控制與決策實驗室 張帆人

尖端控制實驗室 (二) 傅立成 電機二館 205

尖端控制實驗室 (一) 馮蟻剛

控制與決策實驗室 張時中

智慧型及精密運動控制實驗室 陳永耀 電機二館 202

網狀系統控制實驗室 連豐力 電機二館 203