

機構與機器

中華民國機構與機器原理學會會刊第7期

中華民國八十年四月一日

Newsletter of the Chinese Society of Mechanism and Machine Theory

行政院新聞局出版登記證局版台誌字第8318號

發行人：周廣周
出版人：中華民國機構與機器原理學會出版委員會
理事長：蔣君宏
總編輯：蔣君宏
編輯：陳明豐 顏鴻森 吳隆庸 劉興華
發行所：107 台北市國立台灣大學機械系739室
台北市郵政信箱23-10號
電話：(02)3628320
郵政劃撥帳號：14128710
戶名：中華民國機構與機器原理學會
訂閱：全年新台幣180元
零售：新台幣15元
承印者：吉鴻彩色印刷股份有限公司

團體會員 招請贊助

依據本學會組織章程第二章第七條

(二) 贊助會員：凡贊同本會宗旨並對本會有實際贊助之個人或團體，由理事長或會員兩人連署，經會員大會通過，得為本會贊助會員。

(五) 團體會員：凡與機構與機器原理有關之團體，經本會普通會員兩人之介紹，及本會理事會通過，得為本會團體會員。

第一屆第三次理事、監事聯席會議 暨 第一屆第二次編輯委員會會議紀錄

時間：中華民國80年3月9日14:30

地點：台灣大學

主席：蔣君宏

記錄：蘇清洛

出席及列席人員：王廷山(顏鴻森代)、蔣君宏、吳隆庸、廖燈圭、蔡忠杓、王勵群、顏鴻森、蔡穎堅、呂宗熙、何應勤、劉興華、蘇清洛、徐永政

一、會議開始

二、主席報告

1. 執行秘書劉霆先生辭職，自即日起改聘蘇清洛先生繼任。
2. 一般學會所稱「秘書長」一職，本學會以後擬正式稱為「執行秘書」，以利於網羅擔任此職之人選。

三、財務報告(從略)

4. 現正構想，擬成立「機構與機器原理」方面之資料中心，彙集各教授個人所搜集之學術資料，並擴大與國外交換資料，集中起來，提供會員們參考使用。惟此事需要大量之人力與物力，尚有待努力以赴之中。

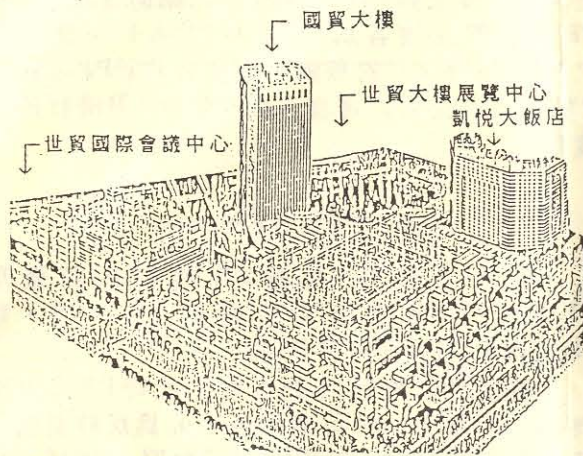
五、出版委員會蔣君宏主任委員報告

1. 本委員會之任務主要為出版會刊，現在每月出版一期，務請各位多多投稿(已在每期之會刊上刊登徵稿啟事)
2. 至於出版學術期刊(Journal)之事，宜由學術委員會負責。
3. 為期招請團體會員及找尋廣告來源，每期會刊均寄四百多份贈與各廠商，惟難以得知他們之反應如何？近期內將作較深入之探討，並增進與廠商之溝通。

之規定，歡迎各界人士或團體參加本會為贊助或團體會員。意者請直接或經過普通會員與本學會聯絡，索取推薦表格。

信義計劃區 重大工程空調系統 均由開立公司施工

提高工程品質，
參與建設回饋社會，
開立願與工程界先進共勉



開立工程股份有限公司
台北市10661敦化南路695號17樓
電話：(02)706-7259(總機)

徵稿

本刊園地公開。除國內外消息外，其中「設計雜談」欄，提供讀者一些有關機構設計或機器設計的實用方法或範例，希望能藉此提高讀者閱讀的興趣也歡迎踴躍投稿。如有稿件請送或寄達本刊各位編輯委員，亦可直接寄來本會信箱。稿件一經採用，敬致薄酬。在此敬祝各位身心愉快，事業順利！

四、學術委員會蔡主任委員穎堅報告

1. 去年已辦過中美近代機械設計研討會（詳見會刊第2期）及邀請 Prof.Erdman來華作一系列之學術演講（以上二事係合併舉行）
2. 現已請到 Prof.Roth 蒞華作一系列學術演講
3. 第八屆世界機器與機構原理大會將於本年九月舉行每四年一次之世界性大會。我國計有七位教授投稿九篇，將赴捷克首都參加大會，發表論文。

六、討論事項

- 提案：本年度之會員大會應在何時何地舉行，請討論。
- 決議：訂於本年四月二十七日（星期六）舉行，下午2:30開始報到，下午3:00正式開會，俟覓妥地點後，再發開會通知。

（後記：已覓妥在台灣大學工學院綜合大樓內二樓國際會議廳。）

七、臨時動議（無）

八、散會

Kutzbach可動性準則 在機構設計上之應用

王勵群

在分析平面機構之可動性（或自由度）時，我們常用之法為 Grübler 可動性準則 (Grübler Mobility Criterion)，即

$$F = 3(N - 1) - 2 \times J \quad (1)$$

上式中

F = 機構之自由度

N = 連桿總數

J = 接頭總數

若將 (1) 式延伸，包括含有二個自由度的接頭的平面機構如凸輪傳動等，則延伸後的 Grübler 可動性準則為

$$F = 3(N - 1) - 2 \times J_1 - 1 \times J_2 \quad (2)$$

上式中

J_1 = 單自由度接頭數

J_2 = 雙自由度接頭數

此準則所依據的原理是基於一剛性連桿在不受限制作平面運動時，最多可有三個自由度（二

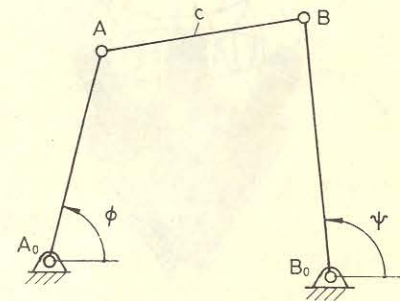


圖 1

個平移，一個旋轉）。但若將二桿件以單自由度之接頭相連接，則其間會減少兩個相對之自由度；而若以雙自由度之接頭相連接則會減少一個自由度。此外，一機構中必有一桿為固定桿，故再減少三個自由度。以圖1之四連桿機

構為例，其中 $N = 4, J_1 = 4, J_2 = 0$ ，故

$$F = 3(4 - 1) - 2 \times 4 = 1$$

即其自由度為1。

同理，對空間機構而言，因一連桿在三度空間中若不受限制，則最多可有六個自由度（三個平移，三個旋轉），且連桿間可以具有一至五個自由度之接頭相連接，因此(2)式可加以延伸，成為

$$F = 6(N - 1) - 5 \times J_1 - 4 \times J_2 - 3 \times J_3 - 2 \times J_4 - 1 \times J_5 \quad (3)$$

其中 $J_i (i = 1 \sim 5)$ 分別為機構中自由度為1至5之接頭數目。上式即為適用於空間機構之Kutzbach可動性準則 (Kutzbach Mobility Criterion)。

我們習知所有平面機構均可視為空間機構之特例，因此(2)式在理論上亦可用於分析平面機構之自由度。但若再以圖1之四連桿組為例，應用(3)式所得之結果為

$$F = 6(4 - 1) - 5 \times 4 = -2$$

因此，若將平面四連桿組視為空間機構，則至少須再增加三個自由度方為可動。此結果顯然與由Grübler準則所獲得之結論相矛盾。

究其原因，我們首先注意到(2)式所能成立之條件為：該機構中之所有連桿皆必須在同一或相互平行之平面上運動。對四連桿組而言，即所有旋轉接頭之旋轉軸線皆必須互相平行且垂直於各連桿之運動平面。但若由於製造上之誤差，導至其中任二軸線互相歪斜，則它將成為一個空間機構，且根據(3)式，此空間機構為不可動。

若所要求之精確度或運轉之速度不高，則此問題可以用增加各接頭間之間隙來解決，但因此而衍生之磨耗，噪音，及疲勞等現象則難以避免。

四連桿組加速度簡易解法

陳正民

以往在作四連桿組的加速度分析時，都是使用多邊形法。只是多邊形法須間接求出各點的速度與法線加速度，步驟很多，並不好用。這裡向大家介紹一個新的方法，不僅快速而且能顯出這些加速度是因何而來。

設已知四連桿組 A_0ABB_0 。如圖1。 A_0A ， B_0B ， AB ， A_0B_0 各以 a ， b ， c ， f 表之。已知 a 桿以等速度 ω_a 旋轉，欲求 b ， c 兩桿之角加速度。作法如下：

1. 作 $A_0C \parallel AB$ ，交 B_0B 於 P
 2. 作 $PG \parallel BCD \parallel AA_0$
 3. 作 $GKF \parallel DP$
 4. 作 $KJ \perp B_0B$ ， $FJ \perp A_0P$ ，相交於 J
- 則

$$\alpha_b = \frac{JK}{B_0B} \omega_a^2 \quad (1)$$

$$\alpha_c = \frac{JF}{AB} \omega_a^2 \quad (2)$$

顯然這個方法要較多邊形法來得簡單而準確，這裡把以上作法做個簡單的說明：

圖2是在圖1中加上兩個滑塊使它成為一個八連桿組。此兩滑塊可各在 B_0B 與 A_0C 桿上滑動，但以一個樞紐釘在 P 點作旋轉。 P 是 BC 與 A_0B_0 的相對極心。先假設 $\omega_a = 1$ ，且為反時針方向。則三角形 PBC 就是 AB 桿的速度多邊形，只是旋轉了 90° 而已，故無須另作速度多邊形。

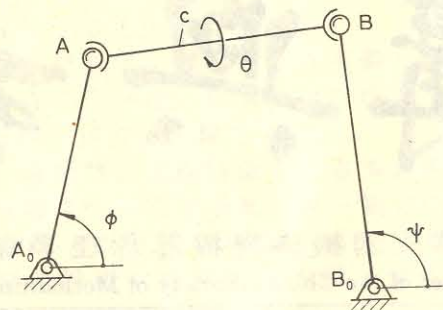


圖2

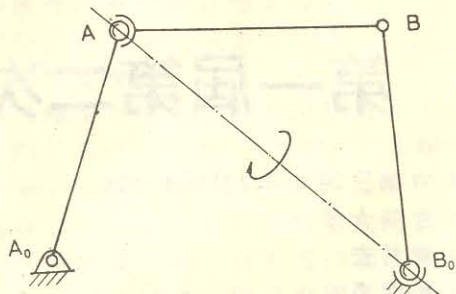
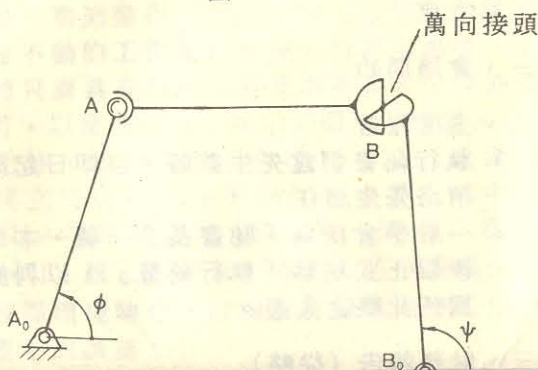


圖3



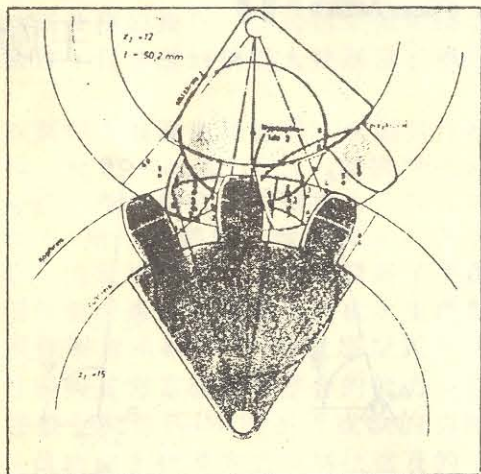
本文介紹另一種方法以解決此一問題。根據(3)式，我們知道若將連桿間各接頭之自由度提高，則可增加機構之可動性。因此，若將該四連桿組之A與B兩個旋轉接頭換為具三個自由度之球接頭，如圖2所示，則 $J_1 = 2, J_3 = 2$ ，故依(2)式得

$$F = 6(4 - 1) - 5 \times 2 - 3 \times 2 = 2$$

即此機構為可動，且具有兩個自由度。若連桿之長度皆不變，則圖2之機構與圖1之機構之輸

專營機構及固體力學專業模型：

- * 透明投影機構模型
- * 實物及縮小機構模型
- * 固體力學測量設備
- * 機構分析設備



透明投影機構模型

開富股份有限公司

台北縣汐止鎮 22123

福德一路132巷14號

TEL: (02) 642-8015 (代表)

圖4

入角 ϕ 與輸出角 ψ 間之關係仍然一樣；所多出之一個自由度為連桿c圍繞其本身軸線之旋轉角 θ 。經此改變後，接頭間之磨耗與噪音等可降低，且精度亦可提高。此機構常見於汽車之懸吊系統。須注意者是此二個球接頭不是可以任意放置的。例如若將原機構中之A及 B_0 處接頭改為球接頭，如圖3所示，則連桿AB與 B_0B 將可繞 AB_0 軸線作任意旋轉，就不符合要求了。

若我們欲使圖2中機構之自由度降為1，則可將二個球接頭中之一改為具有二個自由度之萬向接頭，如圖4所示；即 $J_1 = 2, J_2 = 1, J_3 = 1$ ，故

$$F = 6(4 - 1) - 5 \times 2 - 4 \times 1 - 3 \times 1 = 1$$

若連桿之長度不變，則 ϕ 與 ψ 間之關係仍與原來之四連桿組者相同。

由於在製造時常難以達到平面機構所要求之條件，因此在設計時，若以空間機構之Kutzbach可動性準則來分析所設計之機構之自由度，應可獲得較具彈性之設計，如本文所舉之例所示。最後值得一提者，為不論是Grübler準則或Kutzbach準則，皆僅為機構可動性之充分條件，而非必要條件，因二者皆未將各桿件之尺寸及接頭之安排方式納入考慮。許多連桿數目較多而不符合此二準則之機構仍為可動，稱為過度拘束之機構（事實上，所有平面機構均可視為過度拘束之空間機構）。此類機構之各桿件間必須符合某些特殊之幾何限制條件方為可動。但這些條件要求連桿及接頭必須很準確，因此通常會造成製造上之困難。故在設計時，如非必要，以避免使用此類過度拘束機構為妥。

$$v_B : v_A : v_{BA} = PB : CB : PC$$

若 ω_a 不為1，以上三個速度即各為 $PB\omega_a, CB\omega_a, PC\omega_a$ 。又 $v_c = v_{BA} = PC\omega_a$ 。

先看b的角速度 ω_b 與角加速度 α_b ：

$$\omega_b = \frac{v_B}{B_0B} = \frac{PB}{B_0B} \omega_a$$

故

$$\alpha_b = \frac{\dot{PB}}{B_0B} \omega_a \quad (3)$$

上式中 $\dot{PB}$ 即是PB改變的速度，亦即圖2中P點沿 B_0B 滑行的速度。欲求此速度，可先作出b桿上和 A_0C 桿上與P點瞬時重合之點的速度 PK' 和 PF' （實際速度各為 $PK'\omega_a$ 和 $PF'\omega_a$ ）。從 K' 及 F' 各作 PK' 與 PF' 的垂線，相交於 J' ， $PJ'\omega_a$ 就是P點改變其位置的速度，而P點沿 B_0B 滑行的速度即是

$$\dot{PB} = K'J'\omega_a \quad (4)$$

現在比較圖1和圖2可驗證出四邊形 $PFJK$ 和 $PF'J'K'$ 全等，可得到 $J'K' = JK$ 。將(4)式代入(3)式即可得(1)式。

前面設 ω_a 為反時針方向，此時 $\dot{PB}$ 為由 K' 向 J' ，PB增大，即 ω_b 為加速， α_b 為反時針向。若 ω_a 為順時針向，則PB為由 J' 向 K' ，PB減小， ω_b 為減速， α_b 仍為反時針向。因此不論 ω_a 為何方向，由J讀向K恆代表B點的切線加速度方向，從而可知 α_b 的方向。

同理，C桿的角速度 ω_c 與角加速度 α_c 如下

$$\omega_c = \frac{v_{BA}}{AB} = \frac{PC}{AB} \omega_a$$

故

$$\alpha_c = \frac{\dot{PC}}{AB} \omega_a \quad (5)$$

式中 $\dot{PC}$ 是PC改變的速度，即圖2中P點沿 A_0C 滑行的速度。

$$\dot{PC} = F'J'\omega_a \quad (6)$$

又因 $J'F' = JF$ ，將(6)式代入(5)式即可得(2)式。

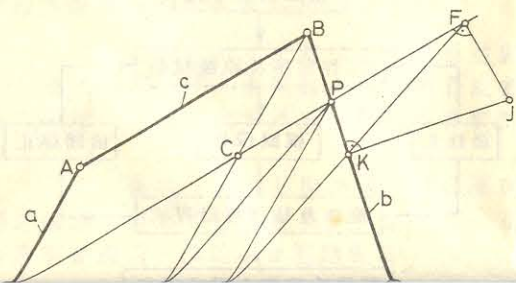
同樣的， ω_a 若為反時針向，則 PC 為由 F' 向 J' ， PC 減小，即 ω_c 為減速；但 ω_c 為順時針向，所以 α_c 為反時針向。若 ω_a 為順時針向， ω_c 為反時針向，則 PC 為由 J' 向 F' ， PC 增大，即 ω_c 為加速， α_c 為反時針向。因此不論 ω_a 為何方向，由 J 讀向 F 恆表 B 對 A 之切線加速度方向，從而可知 α_c 的方向。

在某些特殊情形，前述方法會無法決定 K 或 F 之位置，此時可利用下列關係式。在圖1中可很容易的看出

$$A_0C : A_0P = A_0P : A_0F \quad (7)$$

$$B_0B : B_0P = B_0P : B_0K \quad (8)$$

例如，在圖3中， $AB \parallel A_0B_0$ ，無法決定 F 之位置，可依(7)式作 $B_0M \parallel CB$ ，作 $MF \parallel BB_0$ 找出 F 。又如圖4， $A_0A \parallel B_0B$ ，無法決定 K 之位置，依(8)式在 AB 上任意取一點 M （若使 $MP \perp B_0B$ 較佳） B_0M 交 A_0P 於 N ，作 $NK \parallel CM$ 可找出 K 。圖5和圖6是死點位置的情形， K 與 B_0P 重合， $BC = A_0A$ ，作 $PM \parallel CB_0$ ，作 $MF \parallel B_0P$ ，即可找出 F 。圖7是滑塊曲柄機構 (Slider Crank) 的情形， $A_0B_0 \parallel BB_0$ ，只須作出 $BPNM$ 即可，括弧中為與原作法相對應之點。



機器人離線程式系統之發展 (上)

蔡明俊

前言

機器人是一種可以用程式控制操作的多自由度機器。目前絕大多數機器人均透過電腦，以程式語言來執行所需要的工作。所以機器人是一種可變換工作的自動化機器。自從機器人研究開發以來，應用機器人於自動化的生產環境已有二十餘年的發展歷史，對改善工作環境，節省勞力，提高工作效率與生產品質等方面也確實提供了莫大的助益。

有關機器人的程式撰寫，可概分為線上教導 (On-Line Teaching) 與離線程式規劃 (Off-Line Programming) 兩種方法。目前大部分的程式撰寫仍然停留在線上教導的階段，必須由人工在工作現場移動機器人的手臂和抓持器，將每一步動作都記錄在記憶體中，然後再在正式工作時依序重現。因而在教導過程中，必須停止生產作業，不但費時費力，更影響生產的效率。因此，若能利用離線程式規劃的方法，則可允許我們先在電腦終端機上從事工作的模擬與規劃，再將結果轉換成機器人所能接受的程式語言，以執行所要求的工作。如此就不致於中斷現場作業。此外，離線程式規劃也具有與外界電腦輔助設計／製造 (CAD/CAM) 系統資料整合的能力，可符合未來電腦整合製造的要求，是目前發展的趨勢。

離線程式規劃的概念

有關離線程式規劃的概念，事實上和利用 CAD/CAM 技術來規劃數控工具機 (NC) 的程式

學方程式做簡單的機器臂運動模擬與分析，並不具備實際程式規劃的功能。其後由於電腦技術的快速發展，以及機器人相關理論的漸趨成熟，各種機器人離線程式系統紛紛發表，如 STAR, PROGRESS 等程式系統，以及 PLACE, Robgraphix, Robot-SIM, CATIA, ROBOCAM, CimStation 等商業軟體。它們大都具有 3-D 幾何模型建立，機器人工作模擬，避碰檢驗及週期時間 (Cycle Time) 計算等能力，以及後處理產生機器人執行程式的功能。近期發表的 RWORLD 等系統更強調其整合感測器作用模擬以降低實際工作環境誤差的能力，使得離線程式規劃有較完整的型態與方法，並達到實際由機器人執行工作的目的。

不過有關機器人離線程式規劃的問題遠較 NC 程式規劃為複雜。例如 NC 之 CAD/CAM 發展主要以工件本身為主，針對其刀具路徑及加工問題進行規劃。機器人之離線程式則必須考慮機器人運動空間及整體工作的環境配合問題，進行全面的規劃。此外，NC 之後處理加工程式已標準化，適用於各類型工具機。而機器人離線程式規劃所產生的執行程式則是屬於該類型機器人特有的運動指令，其與實際環境的誤差校準也較為困難。

所以關於機器人特殊用途的離線程式規劃研究，目前已有許多發展應用的實例。除了初期的系統大多以簡單的裝配作為模擬的例子外，Klein 以待噴漆表面的數學模式及噴劑在空間中的顆粒分佈情況為基礎，規劃最佳的噴鎗與機器人運動路徑，使用於噴漆機器人之離線程式規劃。CimStation 則應用於機器人的製造工業

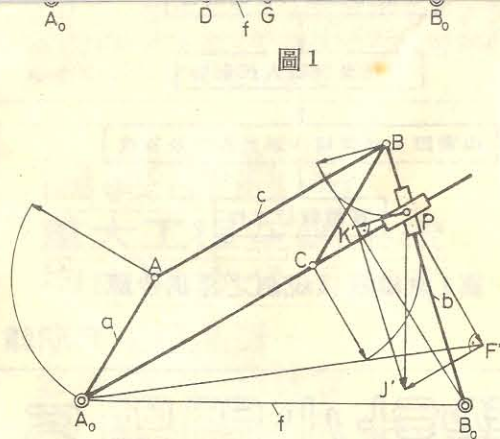


圖 1

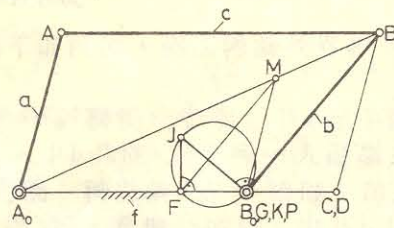


圖 2

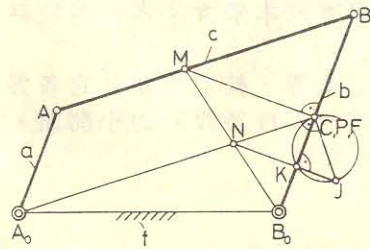


圖 3

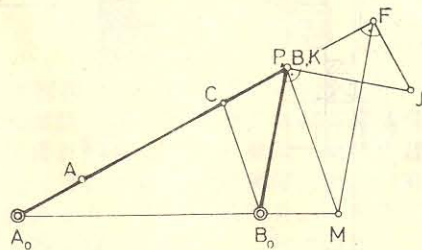


圖 4

設計頗為類似。如圖1所示，兩者都利用電腦軟體所擁有的CAD繪圖功能來描述有關的幾何模型，然後透過CAM部分作製程規劃與刀具路徑，或機器人工作路徑的模擬，最後再將滿意的結果透過後處理功能轉換成可執行的NC碼或機器人語言。當傳送到該設備的控制器後，便可以重複執行工作。此一觀念有助於了解機器人離線程式規劃的功能和角色。

回顧機器人離線程式系統的研究，早期有SAMMIE系統，MIRE系統，GRASP程式系統等的發表，依照機器人運動學，動力

式規劃，Cart及C-Rep則應用於機器人鑄造工業之自動鑄鑄模漏孔程式規劃，Speed應用離線程式系統發展機器人在曲面寫字的能力。而對於焊接方面之離線程式規劃，Kodaira研究車身點焊之路徑銜接及電腦工作環境誤差調整的離

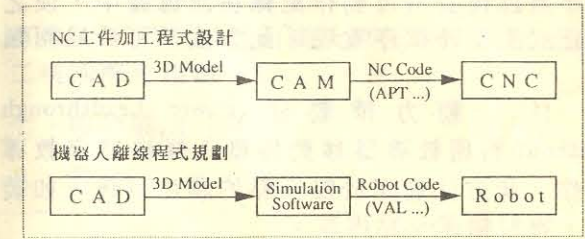


圖 1

機器人離線程式與工件加工程式設計流程

線程式規劃。Yoffa則對六部機器人同時執行汽車車體點焊工作及工作設備誤差校準提出方法，此二者均屬於點焊方面的應用。此外，Jones, Stiles應用於太空梭主引擎焊接之程式規劃，Buchal考慮焊鎗避碰之軌跡規劃及自動焊接參數選取的問題，Cassar, Vanheeghe則考慮平面焊接的程式問題。

對於利用機器人執行自動焊接，有關的影響參數繁多，是一項困難度高且複雜的工作，尤其當焊接路徑是較複雜的三度空間曲線時，若使用單純線上教導機器人的方式，不但精確度較差，而且為了維持路徑之圓滑性與連續性所需的教導點數將會很龐大，使工作缺乏效率與彈性。所以對焊接工作之路徑規劃與教導問題，應利用離線程式規劃的方法來解決。對於機器人夾持焊鎗的焊接路徑導引部分，透過工件幾何模型及交線資料的求取，提供焊接位置及角度的規劃方法，並經由軟體系統提供的工作模擬能力與程式輸出至機器人執行作驗證。

有關機器人程式撰寫及工作規劃方面，則利用離線程式規劃的技術來進行。離線程式系統也可以整合其它部門的CAD/CAM資料，及平行處理(Parallel Processing)多部機器人和定位器的動作模擬與程式規劃。

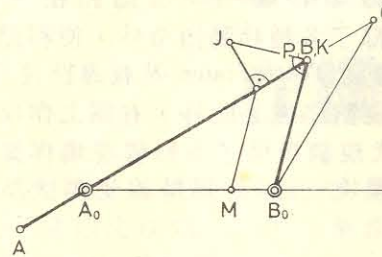


圖 6

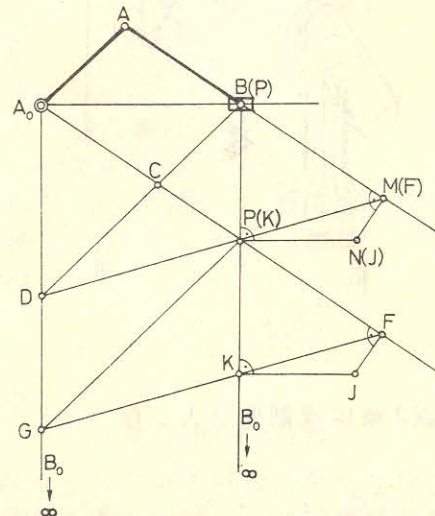


圖 7

(上接第三版)

離線程式規劃與線上教導

目前一般工業用機器人皆用電腦控制，均有屬於自己的機器人程式語言系統。例如 Unimation PUMA 機器人使用 VAL 語言，Cincinnati T³ 機器人使用 PRAGMA 語言，Adept 機器人使用 V+ 語言等等。

有關機器人執行工作所需程式的建立方法，一般可分為兩種，即線上教導 (On-Line Teaching) 及離線程式規劃 (Off-Line Programming)。線上教導是傳統工業機器人所常採取的方式，而離線程式規劃則是目前機器人程式方法的發展目標。茲先就這兩種方法的意義說明如下：

表1 線上教導與離線程式規劃之比較

	線上教導	離線程式規劃
工業應用之普及程度	傳統習用	甚少應用，尚在發展
對機器人本身的要求	重現性 (Repeatability) 要高	精確度 (Accuracy) 要高
所需添加設備	教導器	電腦軟硬體及校正設備
適合之生產型態	連續性之大量生產	少量多樣之批次生產
優點	1. 容易學習及操作，無須程式語言基礎 2. 減少額外設備費用	1. 不影響或中斷機器人現場作業 2. 具有和其它 CAD/CAM 軟體和電腦網路，資料庫整合的能力 3. 安全舒適的工作環境 4. 教導精確性及效率大為提高 5. 彈性大，程式修改容易 6. 可事先模擬測試，以求得最佳工作方法與路徑
缺點	1. 正常生產作業在教導程式時須中斷 2. 人工教導費時費力，精確度差 3. 無法與其它 CAD/CAM 軟體整合	1. 一般電腦模擬常無法考慮實際環境之幾何上差異及機器人誤差的影響

，程式轉換傳送，以及誤差校準與執行四個部分來說明。

(一) 模型之建立及載入

所謂模型是指工作環境中各有關元素的幾何形狀及其工作特性。依照工作特性之不同，一般可分為三種方式來建立。

第一種類型的工作特徵是具有多自由度且獨立的運動機構及控制系統。此一類型主要為機器人系統，以及其它車床，銑床及多軸的定位器等等設備。對於這些設備，首先要將其幾何形狀，如各桿的長度和形狀尺寸都建立起來，接著再定義各接頭的種類及接頭限制 (Joint Limit) 等有關的機構特性及原始位置 (Home Position) 的資料。經由如此的定義，離線程式系統應能夠依該設備的幾何架構自行產生其運動學方程式，以便對該設備之工作進行模擬及工作空間檢測。

第二種類型的工作特徵是附著在上述各項設備上的工具 (Tool)，包括機器人之末端效應器 (End Effector)，工具機之刀具以及工作檯面上的夾具等等。它們對各項設備有固定的附著位置，並且可能擁有單一自由度的開合動作。對這些工具的模型建立，除了有關的幾何形狀外，還需要定義手指數，開合度，附著之原點位及工具端點坐標等資料，以便模擬其動作。

第三種類型為一般的幾何元素模型，本身無相對的關節動作，例如待加工或裝配的工件，固定不動的工作桌以及無人搬運車等等。這些物體只須具有形狀尺度及本身參考坐標的資料即可，以便在電腦上展示其圖形及位置。

此外，當所有與工作模擬有關的元素都一一建立完成後，接著便能以機器人為中心載入 (Install) 相關元素而組成一個工作單元 (Workcell)。該工作單元中各元素的位置關係要能與實際環境吻合，以減少實際應用於工作現場時產生的誤差。

(二) 工作之規劃與模擬

測，防止實際工作時與周圍環境發生碰撞，預作路徑修正。

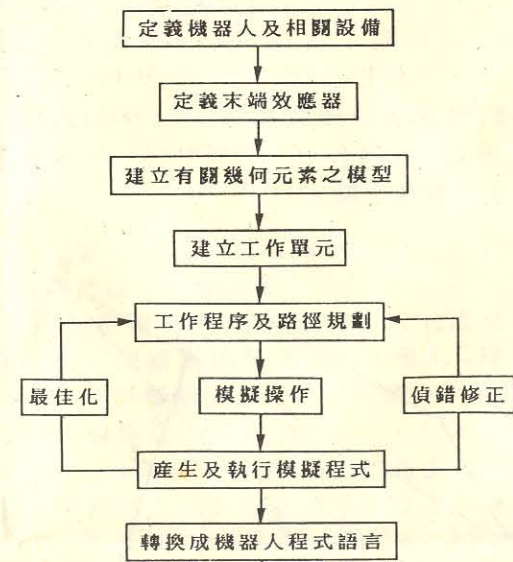
(三) 程式之轉換與傳送

經由前述的模擬操作可以產生模擬程式，此一程式可以記錄整個模擬規劃的工作程序。不過由於模擬程式語言屬於離線程式系統，並非機器人語言，而且機器人的程式語言並不統一，所以模擬程式必先經過一個轉換的步驟，使之產生某一特定的機器人程式語言。

(四) 誤差之校準與執行

由於電腦模擬與實際環境的差異，當機器人首次執行程式前，必須先對可能的誤差作校準。若工作單元內的各項設備已做過相互位置關係校準，則只須再校準工件擺置之位置原點就可。此外，在實際執行時，若工件形狀尺度誤差較大，或工作要求較高，必須因應工件及環境的微小變化，最好輔以感測系統作線上補償的工作。

綜合以上的說明，可以將離線程式的規劃過程歸納成圖3所示之流程圖。



(一) 線上教導

用人工移動機器人的手臂及抓持器，導引其經過需要的運動週期來教導工作，並依工作順序將路徑資料及動作記錄在記憶體中，使之在正式工作時依序重現。此方法又可分為兩類：

(1). 動力帶動法 (Power Leadthrough Method)-利用教導器移動機器人操縱器來教導工作。此方法適用於點至點的路徑教導，如裝配，物料搬運及點焊等。

(2). 人工帶動法 (Manual Leadthrough Method)-由操作者抓持機器人末端效應器移動而產生工作路徑。此方法適用於連續路徑之教導，如噴漆，弧焊等工作。

(二) 離線程式規劃

利用電腦終端機進行機器人工作程式之規劃，撰寫及模擬操作，並將結果轉換成機器人程式語言，再傳送到機器人控制器去執行工作。

有關線上教導與離線程式規劃的特點及優劣可作一比較，如表1所示。離線程式目前雖然尚未能普及應用於工業機器人的程式規劃，但正如表1所示之特點，離線程式的方法不影響機器人的現場作業，大幅的提高了生產效率，也因此更能應付少量多樣的批次生產型態，符合彈性製造系統(FMS)的發展型式。此外，它所具備與其它電腦資料整合的能力，也是未來電腦整合製造(CIM)所不可或缺的功能。這些都是傳統線上教導方式所無法及的，也因此被許多文獻所特別推崇。吾人可預期若能再增進離線程式規劃的模擬真實性，改善人機介面操作，降低軟硬體設備作本，必能像電腦輔助製造(CAM)技術之於數控工具機一般的普及應用於實際工業機器人的生產環境。

離線程式的規劃方法

對於利用現有離線程式軟體來規劃機器人的程式，可分為模型建立載入，工作規劃模擬

當建立整個工作單元後，接著便可以進行工作程序及路徑的規劃，並透過反覆的電腦動作模擬與修正，尋求一個最佳的離線規劃結果。

關於工作程序規劃方面，除了可以依照一般工廠製造生產的流程來進行規劃外，也可模擬嚐試新的工作排程。另外有關機器人的工作順序規劃，必須明確定義機器人工作的每一個細節動作，以免在未來實際操作時發生不符合預期的狀況。例如在桿接機器人的工作程序中，也必須考慮焊接機的控制操作程序，以及起弧、焊接終止時之動作細節。

關於路徑規劃方面，一般離線程式系統都是利用在路徑上有關的位置點定義坐標框(Frame)而串聯成一條運動路徑。例如CimStation中除了各種移動指令外，便利用在螢幕上教導坐標框(Teach Frame)及教導路徑(Teach Path)的方式規劃路徑。此外，有關工作模擬方面，離線程式規劃提供了不影響現場作業的重覆模擬修正環境。圖2即為離線規劃機器人配

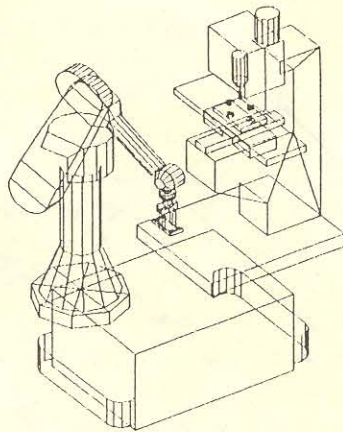


圖2 離線規劃機器人工作單元

合銑床切削工作，而執行工件的傳送的模擬例子。除了動態模擬外，一般離線程式軟體並能估算工作循環的週期時間，也可以提供避碰檢

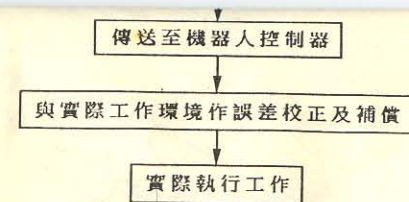


圖3 離線程式規劃之建構步驟

下期續

設計小問題5

編輯室

某生產機器外銷的工廠，遇到如下的小問題：

圖1示一個手柄a可以操縱一個轉輪b。當不操作時a的左端插入一固定件c的孔d中。當操作時a可以拔出，如圖2。在b輪旋轉一圈後，a的左端再插入d孔中。現在問題是，因c的材質不夠堅硬，d孔常會被擴大，問應如何補救？

有興趣提供答案的讀者請在80年5月10日以前將答案寄來本學會。本刊將於第九期刊出正確答案。

歡迎工業界，教育界及其它各界讀者提供各類機構設計或機器設計的小問題，最好是實際遇到的小問題。

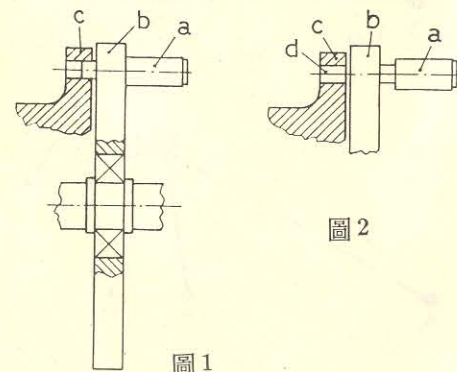


圖1

圖2