

科學圖書大庫

電子計算機基本原理叢書(三)

數位計算機—數學與電路

譯者 朱耀衣
陳維龍

校閱 張去疑

電子計算機基本原理叢書

- (一) 類比計算機引介
- (二) 類比計算機—數學與電路
- (三) 數位計算機—數學與電路
- (四) 數位計算機—儲存器與邏輯電路
- (五) 電子計算機—結構程式保養
- (六) 固態計算機電路

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

電子計算機基本原理叢書(三)

數位計算機—數學與電路

譯者 朱耀衣
陳維龍

校閱 張去疑

徐氏基金會出版

美國徐氏基金會科學圖書編譯委員會

科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員
編輯人 林碧鏗 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國五十九年九月二十六日初版
中華民國六十二年十月十五日再版

電子計算機基本原理叢書 (三)

數位計算機-數學與電路

定價 ~~新台幣二十五元~~ 港幣 六元

現訂為基價 1.80元

譯者 朱耀衣 國立台灣大學電機系教授
陳維龍 國立台灣大學電機系副教授
校閱 張去疑 國立交通大學教授

內政部內版臺業字第1347號登記證

出版者 財團法人臺北市徐氏基金會出版部 臺北郵政信箱53002號 電話783686號
發行人 財團法人臺北市徐氏基金會出版部 林碧鏗 郵政劃撥帳戶第15795號
印刷者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段151號 電話979739號

我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力，在整個社會長期發展上，乃人類對未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同把人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之成就，已超越既往之累積，昔之認為絕難若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人有無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允為社會、國家的基本任務。培養人才，起自中學階段，學生對普通科學，如物理、數學、生物、化學，漸作接觸，及至大專院校，便開始專科教育，均仰賴師資與圖書的啟發指導，不斷進行訓練。從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啟導後學。旨趣崇高，至足欽佩！

科學圖書是學人們研究、實驗、教學的精華，明確提供科學知識與技術經驗，本具互相啟發作用，富有國際合作性質，歷經長久的交互影響與演變，遂產生可喜的收穫。我國民中學一年級，便以英語作主科之一，然欲其直接閱讀外文圖書，而能深切瞭解，並非數年所可苛求者。因此，本部編譯出版科學圖書，引進世界科技新知，加速國家建設，實深具積極意義。

本基金會由徐銘信氏捐資創辦，旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利。民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，返國服務者十不得一。另贈國內大學儀器設備，輔助教學頗收成效；然審度衡量，仍嫌未能普及，乃再遂承國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員林碧鏗氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱。「科學圖書大庫」首期擬定二千冊，凡四億言，叢書百種，門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。從事翻譯之學者五百位，於英、德、法、日文中精選最新基本或實

II

用科技名著，譯成中文，編譯校訂，不憚三復。嚴求深入淺出，務期文圖並茂，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，有教無類，效果宏大。賢明學人同鑑及此，毅然自公私兩忙中，撥冗贊助，譯校圖書，心誠言善，悉付履行，感人至深。其旅居國外者，亦有感於為國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬菲薄，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，報國熱忱，思源固本，僑居特切，至足欽慰！

今科學圖書大庫已出版七百餘冊，都一億八千餘萬言；排印中者，二百餘冊，四千餘萬字。依循編譯、校訂、印刷、發行一貫作業方式進行。就全部複雜過程，精密分析，設計進階，各有工時標準。排版印製之衛星工廠十餘家，直接督導，逐月考評。以專業負責，切求進步。校對人員既重素質，審慎從事，復經譯者最後反覆精校，力求正確無訛。封面設計，納入規範，裝訂注意技術改善。藉技術與分工合作，建立高效率系統，縮短印製期限。節節緊扣，擴大譯校複核機會，不斷改進，日新又新。在翻譯中，亦三百餘冊，七千餘萬字。譯校方式分為：(1)個別者：譯者具有豐富專門知識，外文能力強，國文造詣深厚，所譯圖書，以較具專門性而可從容出書者屬之。(2)集體分工者：再分為譯、校二階次，或譯、編、校三階次，譯者各具該科豐富專門之知識，編者除有外文及專門知識外，尚需編輯學驗與我國文字高度修養，校訂者當為該學門權威學者，因人、時、地諸因素而定。所譯圖書，較大部頭、叢書、或較有時間性者，人事譯務，適切配合，各得其宜。除重質量外，並爭取速度，凡美、德科學名著初版發行半年內，本會譯印之中文本，旋即出書，欲實現此目標，端賴譯校者之大力贊助也。

謹特掬誠呼籲：

自由中國大專院校教授，研究機構專家、學者，與從事科學建設之工程師：

旅居海外從事教育與研究學人、留學生；

大專院校及研究機構退休教授、專家、學者。

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或聯袂而來譯校叢書，或就多年研究成果，撰著成書，公之於世。本基金會樂於運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。祈學人們，共襄盛舉是禱！

前 言

特別感謝海軍人事署署長，人事署官員，以及在伊里諾州大湖城海軍訓練中心之電子技術學校，由於伊等對新興技術需求之遠見及周詳之計劃乃能促使本計算機基本課程得以發展與完成。

因為該課程對全盤防禦計劃具有重要性，故整個兩年以內在完成編寫，準備，研究，以及最後在伊里諾州大湖城海軍訓練中心之電子技術學校所舉行十六週飛行員訓練等方面均由海軍人事署署長提供特殊之技術協助，訓練時一班有三十三員海軍人員參加，效果良好。最後成效顯示該項課程確實已能配合原設計之需求——在電子計算機之操作及維護方面訓練電子技術人員。

似無其他訓練課程能獲得如此重大之努力與支援，且最後之課程內容毫無疑問的能對技術訓練方面提供廣大之貢獻——係一能滿足民間以及軍方需求之課程。

HB02/08

引 言

若說某一工藝之發展與成長較在電子計算機方面者更為迅速則實甚難令人相信。在本書編寫之時，單說美國已有 125 家公司行號出產各型之計算機，其中尚不含全球其他各國中數以百計之公司及無數從事於電子計算機設置之發展與應用之研究機構在內。

凡是“紙上作業”繁瑣或資料必須在最短期內予以處理之處，均已使用電子計算機。因其有上千種用途——其範圍從作好付款支票到導引太空火箭及人造衛星之操作——正造成電子計算機在設計，使用，操作，及維護等方面大量技術熟練人才之需求。由於此種需求，進而形成對訓練課程，教育計劃之極大需要，本叢書即在填補在此方面之大量缺乏。

在“計算機基本”叢書中所含材料原係應美國海軍之請求所產生者，因其需一廣泛而配當良好之課程用以訓練海軍人員操作及維護各種類型之計算機。在制訂課程之初，海軍係與考文出版公司 (Cowan Publishing Corp.) 訂約，再由該公司與技術教育與管理公司 (Technical Education and Management, Inc.) (簡稱 TEAM) 訂約以處理所需課文及材料之準備事宜。TEAM 公司之所以被選中乃因其在計算機界擁有眾多優良合格人員以及借重其以往為海軍作成多種整個技術訓練計劃之準備工作中所獲得之經驗。

本計算機課程在發行之前，曾廣泛地以其作為一種十六週之飛行員訓練計劃，學生為具有不同技術背景之海軍人員，而由兩位 TEAM 公司之人員個人所執行者。由於在教學中所獲得之直接經驗為基礎所作發行前準備工作，我們始能對課程內容先作一番評估與定基之有效措施。該課程之總值，包括所有研究，準備，編寫，訓練，及施教等階段中之化費，依保守之估計約超過美金廿五萬元。

由於業經證實此一計算機課程成效良好，故迅及由計算機廠家，工業界，教育機構，圖書館，及搜集計算機資料之工程從業人員等多方要求將其作商用書籍發行，因之，此項課程再經編排，出版，故又能進一步增進其價值與內容。

雖因人名眾多不及備載，但對各方人士及團體所給予之協助，多家電子計算機製造廠商因提供技術資料所賜予之莫大合作，以及訓練指導美人社團

VI

(American Society Of Training Director) (ASTD) 對此一電子計算機計劃提供有關課程需要之有益指引等之特殊貢獻，均一併深致謝忱。

目 錄

第一章

數位計算機的特性.....	1
簡介數位計算機的數學工具	

第二章

基本數位數學.....	25
簡介一公式	

第三章

高等數位數學.....	39
簡介一疊代法，攝動法，和張弛法	

第四章

機率論.....	69
簡介一方法的應用一散亂數的選擇一數系及碼的概觀	

第五章

數位的機械.....	83
簡介一開關控制和接觸邏輯一機械計數	

第六章

電波整形線路.....	91
電子波的整形一波列的操作	

第七章

波列的產生.....	115
氬管鋸齒波產生器—閘流管鋸齒波產生器—鋸齒波之無源網絡整形	
—過阻振盪器的脈搏產生—單擊過阻振盪器—利用過阻振盪器的脈	
搏列除法—多諧振動器—特殊電路的應用	

第八章

閘波及邏輯電路.....	143
“反”電路—“及”電路—“或”電路	
複習題解答.....	181
索 引.....	185

第一章

數位計算機的特性

簡介

當數位計算機 (Digital computer) 在操作時，它所用的量，可以若干個別的單位來表示。而一個問題在被數位計算機解決以前，這個問題必須首先以這些個別的或分離的 (Discrete) 單位來表示。

有很多種問題可直接利用數位計算機來解決。例如，將五加到六以得十一的程序，其所根據的事實是，五和六都代表特定量的單位，而將它們加起來所得的結果，即由十一個個別的或分離的單元所組成。會計、檔案管理、和許多類似的有關商業方面的問題，通常都涉及這些量以及這些量的組合。許多工業上的程序需要細目的計算，而這些都是涉及分離量的程序。

另外還有一種將特定量的觀念應用於連續函數的方法。就是先描許多點而用直線連接這些點的方法。你可能對繪製函數圖形的方法很熟悉。當所描的中間點的數目增加時，所繪製的圖形就趨近於實際表示函數的曲線，這叫做近似法 (Approximation) 程序。能用於各式各樣的問題的近似法有好幾種，這些方法使得問題可以用量來表示，而這些量即可被數位計算機所利用。

我們需要這些機器是由於我們要求快速、正確、及可靠性。數位計算機能在一個短時間內執行巨量的計算而不致造成算術誤差。做這一類的工作並非絕對需要利用數位計算機，但是由效率和成本的觀點來看，最好還是利用數位計算機。

其他有些重要的問題，用別的方法是無法在所要求的精確度內求得答案。這些問題，若用紙和筆來計算，可能一個問題就要耗費一個數學家一百年的時間；但是，若以數位計算機來做同樣的工作，可能僅在數秒鐘以內就可求得解答。

各種場所都有許多適用數位計算機的問題。在商業上，它們幫助了諸如會計、帳冊管理、紀錄管理、以及存貨控制等商業運算。而科學家可以利用數位計算機以數字近似法來解決幾乎不可能以其他方法解決的科學問題。製

造根據其運算結果而能作簡單判斷的數位計算機是可能的，在工業及軍事應用上，這類機器常被用為監視或控制設備的基件。它們也廣泛地應用於其他方面，諸如解決科學及商業問題中的資料處理和資料化簡等。這種問題的一個例子就如，將由實驗導向飛彈以遙測裝備輸送而來的周圍情況資料加以選擇、作表、分析、和摘要的問題。而且，由於它們有較大的準確度，在許多專門化的應用中，數位計算機已經取代了類比計算機。

在此，可能需要給數位計算 (Digital computation) 這一個術語下定義。所謂計算，就是以數學方式來解決問題的過程。所謂數位 (Digit)，就是用來表示單位的特定數目或一個“個別單位”的特定部分符號。這樣，數字 5 就表示五個這種個別的單位，而數字 0.5 則表示一個單位的一半。所謂數位計算，就是僅用數位來解決問題的過程。

根本上，數位計算機的目的和任何其他計算的輔助器具一樣。它的能力和限制，決定了在我們已知的要求中，它能對那一種作最好的服務。數位計算機能執行一個單獨的計算，如兩數的相加，而且比目前可用的任何其他元件快。在實際的速率限度內，它比任何其他的計算輔助器具更精確。它能執行數千個重複的計算，包含數百萬個數位，而不致在計算中造成誤差。它能儲存百萬項訊息以為將來之用，而在相當短的時間內，它能在我們的要求下，使任何位元的訊息成為可用。我們所說的“相當短”是指由幾分之一秒至數分鐘的時間間隔而言。

但是，計算機也有其限制。對於它所要執行的每一個操作和計算，我們必須給予簡單而明確的指令。我們必須告訴它，由何處覓得訊息，怎樣利用此訊息，怎樣處置此訊息，以及下一個步驟要作什麼。甚至在解簡單的問題時，也必須為機器預備許多極端詳細的步驟。這些步驟必須以機器能夠“理解”的“語言”來表示。我們可能會遭遇到一些問題，這些問題的預備步驟需要花太多的時間及勞力，因而利用計算機來解決這些問題就不實用了。

雖然計算機能在數微秒內執行單獨的計算，但是有些問題包含了許多數以千計的這種單獨的計算，因此，用計算機來解決這些問題所需的時間就要比我們所能容許的多。這一個限制在資料處理和資料化簡的範圍內，以及要求“即時”(Real time) 計算的應用中，顯得特別嚴重。精確度，這通常是數位計算機主要的一種性能，在某些實例中也是一個嚴重的限制。我們必須以數字近似法將許多問題轉譯成數位計算機所能處理的項目，而我們常以含有測量之誤差的訊息來開始計算。誤差常由機器而產生及蔓延，而最後結果所含之誤差百分比，可能就比所能容忍的大得多。這些誤差的產生，就是由於

不精確地處理不十分正確的資料所致。另一個可能的誤差來源就是機器對於數的“進位”。無論計算機造得多大，它所能處理的“數位”數目仍然有一實際上的限制。其結果就是，當它所產生之答案的數位比它所能用的多時，它就將答案“進位”(Round off)到它能用的“數位”數。

以數位計算機來解決問題，有兩種數學工具可用。第一種被分類為“外”數學(External Mathematics)而第二種為“內”數學(Internal Mathematics)。我們已經說過，許多問題必須以計算機能用的項來表示。數位計算機是以計數和比較來執行其計算的。而以此簡單的能力，計算機就能作加、減、乘、除、以及邏輯判斷。

讓我們考慮將 4 加到 7 的問題，來說明為什麼以計數和比較能執行計算。

$$7 + 4 = ?$$

假設你有一個能將一數之值與零比較的元件。並且假設，當比較不符合時，此元件即由第二行將一個數位轉移至第一行，然後重複此程序。在操作時，如果第二行與零之間的比較符合，動作即告終止，而第一行中的最後數量就被計數完成。

第 1 行

第 2 行

7	+ 4, $4 \neq 0$ —— 由第 2 行轉移一個數位至第 1 行。
7 + 1	+ 3, $3 \neq 0$ —— 由第 2 行轉移一個數位至第 1 行。
7 + 1 + 1	+ 2, $2 \neq 0$ —— 由第 2 行轉移一個數位至第 1 行。
7 + 1 + 1 + 1	+ 1, $1 \neq 0$ —— 由第 2 行轉移一個數位至第 1 行。
7 + 1 + 1 + 1 + 1	+ 0, $0 = 0$ —— 計算終止。

第一行被計數完成之後，你就可看到，其結果 11 正是 $7 + 1 + 1 + 1 + 1$ 的正確結果。

稍後，你就會學到，乘法是加法的一個特殊程序，除法是減法的一個特殊程序，而減法也是加法的另一種特殊程序。因此，你就可以知道，要以數位計算機來執行計算，所要的乃是，預備一種使機器能夠計數、比較、並將一個數由一處轉移至另一處的方法。在許多計算機中，實際所用的方法大都與此法類似。

由於機器性能的限制，所以一個問題若要以數位計算機來解決，就必須先以這種簡單的項來表示。要想理解這一個問題，就必須學習一些數學概論。

，諸如數式分析和數字近似法等。在此，你將會熟習重複法 (Iteration)，稱量法 (Weighting)，及近似法 (Approximation) 的觀念。這個意思，並不是要你精通這一方面的數學，而是要你了解，在利用數位計算機來解決問題以前，你應該怎樣來加以預備。

同時，你也馬上可以學到用於數位計算機的“工具”。下面就介紹這些工具。

計算機的內部數學工具 (Mathematical tools)，就是機器用以執行其計算的工具。你將學到，機器怎樣利用計數與比較以執行我們所要求的計算。我們還要介紹一些邏輯觀念，尤其是所謂的波林代數 (Boolean Algebra)。你將看到，含有“若”(If)、“及”(And)、“或”(Or)、和“反”(Not)等字的簡單邏輯敘述，可以用代數敘述來表示。

在第五章、數位力學 (Digital mechanics) 中，我們將介紹用於計算機中的實際硬品 (Hardware)。我們可以觀察到開關與繼電器的物理作用，並且很容易加以解釋。這些元件將遵循波林代數的定律，而可用來解決能以邏輯式子表達的問題。當問題已經以數量陳述之後，我們就必須要有一個能將這些數量表示於機器中的方法。方法之一是利用電壓的脈搏。是故，假如你要表示數量四，那麼就用四個脈搏；而數量十八則以十八個脈搏來表示。這些脈搏的波幅與所表示的數量沒有關係。假如有一個脈搏呈現，就表示數量一；假如沒有脈搏呈現，就表示數量零。

脈搏的產生及處理需要用電子工具 (Electronic tool)，在有關這一方面的章節中，你將會學到，在計算機中產生脈搏的方法之一是，將諸如正弦波的外部信號加以整形。當這些脈搏經過了許多電路及延遲綫後，它們就會變形，因此，將脈搏再度整形或再度產生脈搏是必需的。這種整形的必要若能免除，就方便多了。這可以利用遏阻振盪器與多諧振動器來完成，這些振盪器能產生並整形它們自己的脈搏，要控制發生於計算機內的操作，我們就需要開電路或開關電路了。現在，這些電路若改稱為“符合閘” (Coincidence Gates) 可能對你就比較熟悉了。你將學到，將閘適當地排列，你就能使電路操作於所謂“邏輯的”的方式。這並不是說，電路是邏輯的，而是說，電路操作的性質可用符號邏輯或波林代數來敘述。

邏輯的研究不只用於控制電路，在許多情況下，也用於實際計算。一加一等於二，你知道這是一個邏輯敘述。一加一常等於二，這要一和一產生二以外的任何其他結果是不合邏輯的。一加零等於一，零加零等於零。這三個敘述，雖然由於他們太過簡單而可能顯得可笑，但是它們實際上却構成了二

進數系的完整加法表。在這種數系中，是不處理大於二的數量的。你將學到，利用這個非常簡單的計算系統，你就可以利用僅具有兩種操作狀態的算術基本元件。這類元件之一就是開關，它不是開就是閉。另一個例子是多諧振動器，它不是在它的輸出產生高壓就是在它的輸出產生低壓。

一旦你了解了這些電子工具的操作原理，你就會發現，了解如何將它們組合以執行計算並不難。雖然有許多能做同樣工作的電路並未詳加說明，但它們的操作原理，根本上，和那些我們將要說明的相同。

我們還要討論其他的工具，因為它們在數位計算中具有獨特的性能。這樣，我們就要詳細說明磁性工具 (Magnetic tools) 了。某些材料，其磁性使其極適用於數位計算。一個永久磁鐵的磁化方向只有兩種。磁化的方向表示了一個明確的分野，因而滿足了數位計算的要求之一。這一個磁性材料的獨特性質，也使其有用於訊息的儲存。磁帶、磁鼓、或磁碟的表面上的磁化面積，可用來以數位的形式表示訊息。安裝這些磁性元件所需要的空間比大多數其他的儲存元件小得多。

物質一旦被磁化，它就不再需要功率以維持其磁化狀態。是故，當數位計算機暫時失去功率時，雖然可能要從頭開始執行解決問題的程序，但是，可能儲存於計算機的磁性記憶器中的大量訊息，故不致失去。

磁學的原理也可應用於磁圈 (Magnetic Core)，磁圈可用為二態 (Two-state) 元件，它的操作，在原理上與多諧振動器和閘電路相似。我們將對磁學作一簡略的複習，而你將了解這些原理被怎樣地應用於數位計算機中。

電晶體正被廣用於數位計算機中。利用陰極射線管的表面，以為靜電儲存元件也是可能的。延遲綫也用於儲存與計時。

我們將說明一些數位計算機的電位工具 (Potential tools)。有許多這種工具以後會證明是不實用的，但是它們似乎都具備一些有益於數位計算的條件。對這些工具加以檢討，對你在未來的計算機中想知道的，將是一個有用的預習。

在你瞭解這些工具如何被利用之後，你將學到它們實際上如何地被組合來構成數位計算機的單位。為了證明我們如何地完全利用這些工具的現有性質，我們將說明數系及碼。利用程式以使計算機執行其計算的基本原理也將被說明到。當然，為了要將訊息送入計算機，或送出計算機，輸入與輸出設備是需要的。我們可以用諸如打孔卡片閱讀機，高速打字機，及磁帶等單元。這些都是數位計算機的重要部分，若沒有它們，我們就無法與機器相通了。

以上所提的有關數位計算機的各方面，我們都必須加以研究，才能有效

地維護機器。維護技術將被討論到。有許多數位計算機維護的概念，和用於電子設備的那些概念是相似的。無論如何，整體的數位計算機是巨大而且昂貴的，而它的用途在於，以機器在最小的逆時 (Down time) 適當地操作為主的應用中。所以，計算機的維護方法必須要精密才可以。我們將說明到許多特殊的計算機維護法，這些包括核對邊際電壓位準，加上試驗和“診斷”程式在內。

總之，數位計算機是一種多才多藝的高速元件，而許多需要計算的場所，必須利用它或要用到它。它的伸縮性被我們以它的語言來表示我們的意思的能力所限制，而它的精確性可由我們來決定。雖然數位計算機所包括的電路非常多而使其顯得複雜，但是根本上，它只是一個簡單的元件。將來，數位計算機也許會成為辦公室中的普通計算器。

數位計算機的數學工具

在本節之前，計算機的問題及解答曾被認定是連續性的，並且由特定的數學方程式而定。以前，我們曾將問題引入類比計算機中，而由類比計算機來模擬實際的物理狀況，此狀況的數學模型，或我們調查中的假定狀況。我們曾經說過，類比計算機，不論它的成分如何，總是有速率及精確性的限制。你已經學過，只要你希望要多精確，你就能將數位計算機造得多精確，而精確度所受的主要限制是製造機器的可用資金。數位計算機的操作速度極快，但是只認識分離數。那麼，數位計算機能解決含有連續值的問題嗎？答案是肯定的。它的方法是，以繼續相連的分離值來代替連續的數學式。這些分離值罕有與連續式相同但是，可使它們盡可能地近於原來的數學式。

本節將說明到誤差的數學。要用數位計算機來解決問題時，這一種數學是推演出所需之數學關係的基礎。

資料集合與方程式的寫法

在數位計算機的範疇中，一個重要的問題是，如何根據一組已知的數值，或一個已知的數值表，來推演出數學方程式。這些數值，可能是由經驗得來，也可能由測量得來，或可能是推測的結果。

對作用中的實際系統加以觀察，而記錄作用過程中各特定點之數字資料，就可獲得經驗上的數值表。由測量推導出來的表，包含了實物的尺寸，諸

如牆或建築物等我們想要用數學來說明的物體。

由假設的條件所推演出來的表，是一種純粹假設的表。在設計上，這種表很常見。設計者若想依特定的方式而創造一個實際的系統，他就可能設計出許多數值，而與他想要此系統在操作時的每一點的作用相對應。這些數值就是他創造意念的結果。對他而言，這些數值就是所要的工作特性。

看了這些獲資料的方法之後，現在讓我們以監視雷達為例。雷達是以其固定位置為中心，在一定的時間週期內作 360 度的拂掠，以完成鄰近面積的搜索。現在，假定有一個目標已經在這個雷達的搜索面積內被找到。我們由雷達的每一次拂掠，而得到關於目標的經驗上的訊息。如圖 1-1 所示。這個訊息只是數字而已，它包含了一個角度，一個範圍，以及（若為空中目標）

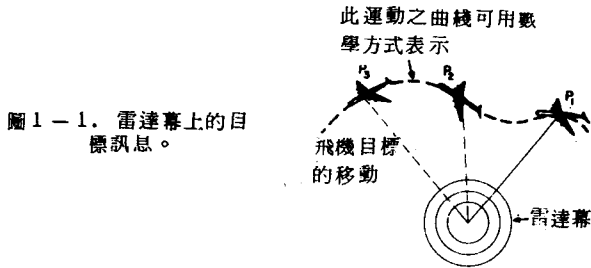


圖 1-1. 雷達幕上的目標訊息。

一個仰角。依雷達操作的方式，在每一個觀察之間都要有一段時間，在這段時間中，移動的目標將改變其對雷達的相對位置。如果目標是一架飛機、飛彈或船，其運動即具有一致性。那就是，目標的運動不是加速，就是減速，不然就是以一定的速度在某一方向移動。這種運動就能以數學方式來描述。現在的問題是，如何利用累積的資料來描述目標的連續運動。當然，我們可用這些數值來畫出平滑的曲線，就如製圖室內所做的一樣。這樣就可以得到空中目標的近似行程和速率。對於在水面上以任何速率在任何方向行駛的船隻，我們也可利用同樣的步驟。這種曲線或圖形是非常近似的。再者，製圖的步驟要花大量的時間。今天的超音速飛機要比二次大戰時的飛機快得多，因此，以前可用於較慢之飛機的方法，現在已經行不通了。現在，我們所需要的方法是，對於比聲速快兩倍或三倍的物體，就其行程與速率作瞬時的決定。這一節所要說明的，就是可用於作這種決定的數學工具。

在以下的討論中，我們假設抽查時間（利用監視雷達來觀察目標的時間間隔）是相同的。除非目標對準雷達移近或遠離，抽查時間是不會一樣的，