

科學圖書大庫

# 離散計算結構

主譯者 國立編譯館  
譯者 葉秋煌

徐氏基金會出版

世界圖書出版公司

513  
173

科學圖書大庫

# 離散計算結構

主譯者 國立編譯館  
譯者 葉秋煌

徐氏基金會出版  
世界圖書出版公司

**离散计算结构**  
**叶秋煌译**

**徐氏基金会 出版**  
**世界图书出版公司**  
北京朝内大街137号

**新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售**

1989年12月第一版 开本：850×1168 1/32

1989年12月第一次印刷 印张：12.25

ISBN 7-5062-0482-7

定价：6.80元

经徐氏基金会允许，世界图书出版公司重印，1990。

**限国内发行**

# 譯 序

1577/16

每個學計算機科學的人，都會希望有很強的離散數學基礎。因這是其他更深的計算機原理的依據。本書原名為Discrete Computational Structure；顧名思義，可猜想本書原作者一定是懷著如下的想法來寫本書：讓我寫一本容易學的數學書，學生學了又能在計算機領域裏邁步向前走。事實上，本書是以學計算機者的立場來寫的，避免過份嚴密，以及為求數學系統的完全而增加太多不實用的東西。而在與計算機的關係、應用及原理的闡釋仍很清楚、有趣而週全。

我一直主張教育要平民化、大眾化。也就是讓智力中等者，只要想學，就可以成為某方面的專家。這理想可由編出一序列平易近人，循序漸近的教科書來達成。本書原文即具此特徵，譯作力求保留此特點。閱讀時，書中內容與讀者間若存在障礙，阻礙理解，那不外以下兩項原因形成：

1 文字所敘述的觀念是抽象的，讀者無法自己建構具體例子，以與該觀念對照，加深瞭解。

2 文字與所指的內容有道鴻溝。讀書時，我們的目的在瞭解文字裏的內容，但如界語句不夠明確，或表達語法與讀者習慣不同，則讀者在瞭解內容之前，要花更多時間打破文字與內容間的鴻溝。

以上之第一點，原書有很多實例，幾乎是有什麼觀念就有什麼例子。因此不成問題。至於第二點，我在翻譯本書時，力求文字透明如水，可立見其內的魚。

本書的另一特點是適合懶的人，忙的人來讀。由於各部份相當獨立，因此你可隨時由某一主要部份開始讀，只要你將該部份所用的觀念，翻一翻索引，找到出處，弄懂了即可將該部份讀懂。

本譯作，或許會有疏漏之處，希望讀者不吝指教。並預祝讀者學習一日千里。

# 第一版序

任何程式設計師或使用者都須瞭解，數位計算機本質上在各方面都是有限的。這使得計算機在處理數值計算、符號操作、資訊擷取，或影像產生時，所用程序及所得結果都要受有限的字長及記憶量所限制。而且計算機操作時離散時步也會限制這些程序及結果。所以要完全瞭解計算機的能力及限制，實有須要研究這種有限性所產生的影響。本書之目的正是要將計算時重要的離散數學的觀念全收集起來。自始至終，我都將心思集中於以下兩問題：(1)這個目前提到的觀念，如何影響計算機的理論及實作(2)計算機如何用這些原理以解決問題？這兩問題，並不是經常都有相同份量的完美答案。尤其是書中較前部分，各主題與計算機的關係省略了很多。還好，這些主題很少，很精簡，只是因其以數學觀點來看，以後，必須用上，所以非談它不可。

本書是根據ACM 課程 58 之課目B3 離散結構導引，設計來做為大二或大學高年級的教科書。因此，我假設學生瞭解且能使用至少一種高階語言。以此假設，我設計本書及習題。我將B3 課目看成一年課目中數學成分較多的一半，所以學生研讀完本書題材，必能使用這些觀念於更專門的、與計算機有關的課目裏。譬如資料結構（在本質上須放在B3 之後學習），交換網路及自動機理論都不會是很難的問題了。依此，串列，線路設計，有限狀況機器等都大量的省略，而將這些主題放入其他課目中討論。

雖然，我堅信數學內容須精確不容誤導，但本書不將離散結構理論寫

成正式，嚴格的形式。在我經驗裏，在此層次的計算機科學學生都不見得欣賞理論的精妙。因此我決定將計算中所用的理論架構儘可能發展完全，並詳加討論。（不管多正式的結構，都儘可能非正式表達）但我認為教師要能對那些有能力吸收理論的學生，提出更有挑戰性的，正式點的問題。

本書結構相當鬆散，這反能使教師自由從其中取出題材來教。本書讀者不須太多數學知識。但在近世數學略有基礎的學生會發覺第一章及第九章是複習教材。基本上本書有五個部分，那部分先教都可以。本書各部分間及各部分內以目前方式安排，實在是基於我處理這些問題材的經驗而來的。

第一章構成第一部分。此涵蓋所須的數學基礎，所以必須先讀。第一章也討論一些集合的計算機表現。

圖枝理論的部分包括第二至第四章。其組織方式是由最簡單的觀念慢慢進入較複雜的觀念。在貯存的最小化及帶寬那些部分，顯出可以在數學及計算機原理間找出緊密關係，而兩者彼此之間有良好的影響。第三章發展出一套研究論文之外很少有發表過的觀念架構。而第四章最後一部分也是如此的。

代數部分在第五章至第七章，集中在半羣；羣及絡（lattice）。但這不表示環、體及一般代數不重要，而是這些課程縱使省略，也不會影響本課程的目的。

第八章及第九章包括氏代數及命題演算，而以很傳統的方式表達。本部分包括一種稱為列表法（tabular method），用來將布氏函數最小化。第九章所討論的波蘭記號法，用來與第三章的觀念相對照。謂詞演算省略不談的理由與前面代數結構省略的理由是相同的。也就是在以後的課程再討論，不會影響本課程多少。

本書最後一部分，集中在組合學及機率，這是最新的課題。第十章引出將物體枚舉之一般程序，透過所學的一串例子展示不同的技術。Polya

定理是相當重要的定理，但在此階段來討論卻是太難的問題。因此本人省掉任何須使用到此定理的問題。第十一章則純然是個案研究。所選的問題都相當複雜，且與作業研究的應用有很多關連者。或是能展示計算機用途，以及程式設計中的組合特性的問題。最後，第十二章向學生介紹在計算機生涯中會用得到的一些機率概念。

有一些練習會標上（\*）或（\*\*），這些大半是程式。單星號表示難題，雙星號，表示此題極難，或是跟本不可能做出。這些問題用來向聰明些的學生挑戰，以及當成課堂討論的題材。亦即，打（\*\*）號的問題可以讓學生花一週時間做，甚至不必指望他們解出來。也可以在課堂上討論他們遇到的困難，及如何克服之。標著“續”的習題是前一習題的連續。本書組織極具彈性，可用各種順序來教學，只要教師在教一題材之前，將使用到的觀念事先定義好即可。

## 第二版序

在第一版出版後幾年來，計算機發展得很快。微計算機各處都在使用。Pascal 已取代為教學語言，越來越多學生在高中或更早就學習計算機。但計算機原理基本上保持不變。在離散數學方面有健全的基礎，對計算機研究仍是極具價值。

第二版的組織方式，是由第一版在課堂上教學經驗修正過來的。第一版中某些特別的題材都用一些較新的題材取代，但內容在整體來講是相同的。數值計算越來越重要，尤其在陣列及矩陣那幾章中，以及將組合那一章放到本書前面時，就可感覺出來了。圖枝理論及組合學的緊密關係可由書中安排看出，我將組合學放在圖枝理論之前，更深的圖枝理論之後。

第二版的另一些主要改變是將一些代數題材換成有限機器的題材，後者為形式語言的基礎。近年來，自動機理論愈形重要，因其可直接應用在字串處理問題中。而其能輕易地實現在積體電路中，以及可應用在機器人中，也是自動機理論不容忽視之處。

離散數學在應用於計算機上時，是很多緊密交織在一起的題材的集合體，談不上有什麼最好的安排的順序。因此，本書的安排式雖然教學都非常順暢，但有些人可能喜歡將布氏代數及邏輯擺在最前面（當然仍有其他安排）。

# 目 錄

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 譯 序 .....                  | I   |
| 第一版序 .....                 | III |
| 第二版序 .....                 | VI  |
| 第一章 個體，性質，及關係 .....        | 1   |
| 1.1 引 言 .....              | 1   |
| 1.2 個體，個體的性質，個體所成的集合 ..... | 2   |
| 習題 .....                   | 5   |
| 1.3 集合運算 .....             | 5   |
| 習題 .....                   | 7   |
| 1.4 集合之計算機表現及集合運算 .....    | 8   |
| 習題 .....                   | 12  |
| 1.5 計算機之貯存：位址及內含 .....     | 13  |
| 1.6 積集合，關係，函數 .....        | 14  |
| 習題 .....                   | 24  |
| 1.7 等價及次序關係 .....          | 25  |

|                                          |           |
|------------------------------------------|-----------|
| 習題.....                                  | 29        |
| 1.8 個體間的關係，關連資料庫.....                    | 30        |
| <b>第二章 陣列及矩陣.....</b>                    | <b>31</b> |
| 2.1 資料結構中的陣列.....                        | 31        |
| 2.2 一維，二維，三維陣列.....                      | 32        |
| 2.3 稀疏陣列.....                            | 33        |
| 2.4 陣列的操作及表現.....                        | 33        |
| 習題.....                                  | 37        |
| 2.5 矩陣及線性代數.....                         | 37        |
| 習題.....                                  | 42        |
| <b>第三章 圖枝論 ( graph theory ) 之基礎.....</b> | <b>44</b> |
| 3.1 預先之鳥瞰.....                           | 44        |
| 3.2 基本定義.....                            | 45        |
| 習題.....                                  | 50        |
| 3.3 圖形的計算機表現：串列及矩陣.....                  | 51        |
| 習題.....                                  | 56        |
| 3.4 特殊的圖形類.....                          | 57        |
| 習題.....                                  | 64        |
| 3.5 有向圖的定義.....                          | 66        |
| 習題.....                                  | 69        |
| 3.6 有向圖的表現.....                          | 70        |
| 習題.....                                  | 72        |
| 3.7 特殊的有向圖形類.....                        | 72        |
| 習題.....                                  | 73        |

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| <b>第四章 組合學</b> ..... | <b>76</b> |
| 4.1 計數及分類.....       | 76        |
| 4.2 物體之置換.....       | 76        |
| 習題.....              | 82        |
| 4.3 置換群.....         | 84        |
| 習題.....              | 91        |
| 4.4 物體的組合.....       | 92        |
| 習題.....              | 96        |
| 4.5 枚舉理論.....        | 97        |
| 習題.....              | 100       |
| 4.6 組合數.....         | 100       |
| 習題.....              | 104       |
| 4.7 分割及組成.....       | 105       |
| 習題.....              | 108       |
| 4.8 時間及貯存需求之估計.....  | 109       |
| 習題.....              | 110       |
| 參考書目.....            | 111       |

## 第五章 樹形及階層 ( Trees and Hierchies )..... 112

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 5.1 基本理論：尋常樹形及有根樹形..... | 112 |
| 5.2 有向樹形.....           | 112 |
| 5.3 樹形域.....            | 113 |
| 習題.....                 | 117 |
| 5.4 樹形的平衡及其影響.....      | 118 |
| 習題.....                 | 122 |

|                                         |            |
|-----------------------------------------|------------|
| 5.5 樹形之線性表現.....                        | 123        |
| 習題.....                                 | 131        |
| 5.6 階層 ( Hierchical ) 結構之應用.....        | 133        |
| 習題.....                                 | 135        |
| 參考資料.....                               | 135        |
| <b>第六章 圖枝理論：無向圖形</b> .....              | <b>136</b> |
| 6.1 擴展樹及循環圈基 ( BASESCYCLE BASES ) ..... | 136        |
| 習題.....                                 | 140        |
| 6.2 圖形同構.....                           | 143        |
| 習題.....                                 | 150        |
| 6.3 貯存之最小化帶寬法及輪廓術.....                  | 152        |
| 習題.....                                 | 162        |
| 6.4 圖形著色之應用.....                        | 164        |
| 習題.....                                 | 170        |
| 6.5 超圖形.....                            | 170        |
| 習題.....                                 | 172        |
| 參考資料.....                               | 172        |
| <b>第七章 圖枝理論：有向圖形</b> .....              | <b>174</b> |
| 7.1 流程圖之分析.....                         | 174        |
| 習題.....                                 | 178        |
| 7.2 網絡理論.....                           | 180        |
| 7.3 路徑問題.....                           | 181        |
| 習題.....                                 | 186        |
| 7.4 流問題.....                            | 187        |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 習題.....                            | 197        |
| 7.5 資訊網絡.....                      | 199        |
| 習題.....                            | 206        |
| 參考資料.....                          | 206        |
| <b>第八章 離散機率</b> .....              | <b>207</b> |
| 8.1 離散集合上的機率.....                  | 207        |
| 習題.....                            | 212        |
| 8.2 條件機率及獨立性.....                  | 214        |
| 習題.....                            | 219        |
| 8.3 二項式係數之計算.....                  | 220        |
| 習題.....                            | 224        |
| 8.4 統計分布.....                      | 225        |
| 均勻分布.....                          | 234        |
| 習題.....                            | 235        |
| 8.5 隨機數生成元，雜湊（隨機數亦稱亂數）.....        | 236        |
| 習題.....                            | 240        |
| 8.6 模擬及佇列.....                     | 241        |
| 8.7 標準的統計套裝程式.....                 | 241        |
| 參考資料.....                          | 241        |
| <b>第九章 自動機及形式語言</b> .....          | <b>246</b> |
| 9.1 計算模型：有限自動機，下壓自動機，線性有界自動機.....  | 246        |
| 習題.....                            | 246        |
| 9.2 計算模型：杜算機（TURING MACHINES）..... | 246        |
| 習題.....                            | 246        |

|                                               |            |
|-----------------------------------------------|------------|
| 9.3 計算模型：正規語言，上下文自由語言，上下文敏感語言<br>，遞迴枚舉語言..... | 259        |
| 9.4 計算與交通間的應對.....                            | 266        |
| 9.5 遞迴程序.....                                 | 271        |
| 習題.....                                       | 273        |
| 參考資料.....                                     | 273        |
| <b>第十章 布氏代數</b> .....                         | <b>274</b> |
| 10.1 定義及性質.....                               | 274        |
| 習題.....                                       | 277        |
| 10.2 布氏代數與集合代數之對應.....                        | 277        |
| 習題.....                                       | 279        |
| 10.3 布氏函數，正準形式.....                           | 279        |
| 習題.....                                       | 284        |
| 10.4 計算機的邏輯設計.....                            | 285        |
| 習題.....                                       | 291        |
| 10.5 布氏函數之最小化.....                            | 292        |
| 習題.....                                       | 303        |
| 10.6 可程式邏輯陣列.....                             | 303        |
| 習題.....                                       | 305        |
| 參考資料.....                                     | 305        |
| <b>第十一章 邏輯：命題及述語演算</b> .....                  | <b>307</b> |
| 11.1 命題演算：基本定義.....                           | 307        |
| 習題.....                                       | 310        |
| 11.2 真值表.....                                 | 310        |

|                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| 習題.....                                                          | 315        |
| 11.3 完整的式子.....                                                  | 317        |
| 習題.....                                                          | 319        |
| 11.4 運算子集合.....                                                  | 320        |
| 習題.....                                                          | 322        |
| 11.5 波蘭記號.....                                                   | 324        |
| 習題.....                                                          | 331        |
| 11.6 重言邏輯 ( Tautologies ) , 定理及證明.....                           | 332        |
| 習題.....                                                          | 339        |
| 11.7 量詞 ( Quantifiers ) 及謂詞演算 ( Predicate<br>calculus ) 之要素..... | 339        |
| 習題.....                                                          | 341        |
| 11.8 程式正確性的證明.....                                               | 342        |
| 習題.....                                                          | 345        |
| <b>第十二章 演算法及程式</b> .....                                         | <b>347</b> |
| 12.1 好的演算法之設計及測試.....                                            | 347        |
| 習題.....                                                          | 349        |
| 12.2 由演算法到程式間之轉換.....                                            | 350        |
| 習題.....                                                          | 351        |
| <b>第十三章 結 語</b> .....                                            | <b>352</b> |
| 13.1 將計算機看成人類解決問題的助手.....                                        | 352        |
| 13.2 字問題.....                                                    | 353        |
| 習題.....                                                          | 354        |
| 13.3 翻譯及了解.....                                                  | 355        |

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| 13.4 人工智慧.....        | 356       |
| 13.5 計算機與數學的共生共存..... | 356       |
| 部份習題之解答... ..         | 358 ~ 376 |