

電腦網路

原著者 Andrew S. Tanenbaum

譯著者 于志强・馮化中

曉園出版社

電 腦 網 路

原著者 Andrew S. Tanenbaum

譯著者 于志强 · 馮化中

曉 園 出 版 社

版權所有・翻印必究

修訂版

1986年元月第一次印刷發行

1987年三月第二次印刷發行

電 腦 網 路

定 價：新臺幣 280 元

原 著 者：Andrew S. Tanenbaum

譯 著 者：于 志 強・馮 化 中

發 行 人：黃 旭 政

發 行 所：曉 園 出 版 社 有 限 公 司

HSIAO-YUAN PUBLICATION COMPANY LIMITED

臺 北 市 青 田 街 7 巷 5 號

電 話：(02) 3 9 4-9 9 3 1 三 線

郵 撥：1 0 7 5 7 3 4-4 號

門市部(1)：臺北市新生南路三段96號之三

電 話：3 9 1 7 0 1 2・3 9 4 7 3 7 5

門市部(6)：臺北市重慶南路一段115號

電 話：三 三 一 三 三 六 〇

門市部(3)：臺北縣淡水鎮英專路71號

電 話：六 二 一 七 八 四 〇

門市部(4)：臺中市西屯區文華路113號

電 話：(04) 2 5 1-2 7 5 9・2 5 4-6 6 6 3

印 刷 所：遠 大 印 刷 廠

臺北市武成街36巷16弄15號

出版登記：局版臺業字第1244號

著作執照：臺內著字第 號

譯 序

本書所討論的範疇，“電腦網路”，坊間鮮有著述，所以這項工作相當具有挑戰性。筆者在譯著期間，所遭遇的最大困難是專有名詞的翻譯；由於無例可循，我們只有絞盡腦汁，使其能盡量配合現況且表達出原意；其次，因為這不是一本初級的課本，原著者 Tanenbaum 先生在很多簡短的章節中交代了許多複雜的觀念以及實際的網路，但將這些不但在語意上相當艱深，就連結構也十分複雜的句子轉譯成中文，可不是件簡單的事情。所幸排除萬難終將全書譯完，期能對國內發展電腦網路的趨勢略盡棉力；筆者才疏學淺，譯本若有疏漏不週之處，尚請讀者不吝指正，使本書更臻完善，則不僅是本人之榮幸，更為後進之學子造福矣！

于志強
馮化中

原 序

由於電腦價格的持續下降，體積不斷減小，數目增加，人們對於將電腦相連構成網路及分散系統的興趣則不斷增加。起初，這些連接是以某些特殊方式（如每個電腦將其他電腦視為終端機）達成。可是，由於過去十年間人們對計算機網路的研究，我們在這個學術領域上已建立了紮實的基礎，使得網路與分散系統的設計逐漸走向系統。

設計計算機網路的主要理念是由朱利亞斯·凱撒首先提出的劃分並征服」(Divide and Conquer) 觀念。其設計理論是將其視為一序列的層次（或抽象機器），每個層次均植基於下層的層次上。如此，我們將可對網路整體的研究，限制在許多易於處理的小課題上。這本書便是使用一個將網路劃分為7個層次的模型為基礎。

第一章對計算機網路之一般（特別是層次式）協定做了一個簡單的介紹。第二章整理出一些網路組織結構設計相關的演算法及具啟發性的觀念。第三章由網路7層模型之最基層（實體層）開始介紹，其內容包括如電話系統、衛星等資料通訊系統之結構。第四章主要討論與資料鏈結層有關的協定及在不可靠線路上維持可靠資料傳送的方法。第五、六、七章全都是有關於網路層的探討：第五章是點對點網路。第六章是衛星及封包無線電網路，第七章主題為區域網路。第八章研究傳輸及會期層，特別是有關於終端對連協定及交連網路的討論。第九章主題為表現層，其中包括密碼法，文件壓縮，虛擬終端機協定及檔案傳送協定。第十章介紹若干應用層之研討課題，主要是有關於分散式資料庫與分級式操作系統之研究。第十一章包含了有關於參考書目整理詳列。

這本書是為電腦科學、電機工程或其他相關科系的低年級生、

HY50/02

高年級生及研究生設計的教本。只需對電腦系統及程式設計有基本了解的學生都可研讀此書。(當然,若有些基本微積分及機率概念更好)。因為此書的內容對某些階層的學生而言可能過多,無法在一學期內教完,我在寫書時儘量使各章獨立,以利分段教學。如此,教師可依需要選擇講授的章節。特別是第二章,它非常冗長而偏重技術性,對網路組織結構沒有興趣的同學可跳過此章不讀,但仍能對網路有連貫性的了解。但是,如果您略過第二章未讀,我建議你最好看看等式(2-9)及(2-10),因為這兩個式子在後面12章出現頻繁,以分析網路效率。

未具備電腦科學正統學術訓練,但有迷你電腦、組合語言、系統程式語言、作業系統或資料通訊實際經驗的人們也不太可能在了解本書內容上遭遇困難。即使不十分熟悉上述領域的經理或程式設計師也能了解本書的大半部分。

在此,我要感謝許多幫助我完成此書的好友。首先我要感謝 Wiebren de Jonge,他對我手稿幾近每頁提出的問題,討論,爭論所花費的寶貴時間及他對我的指正督促。

我也要感謝 Peter Apers, Dick Binder, Imrich Chlamtac, Dave Clark, George Conant, Ira Cotton, Rudy Cypser, Yogen Dalal, Dixon Doll, Phil Enslow, Howard Frank, Bill Franta, James P. Gray, Paul Green, Jan Hajek, Doug Jensen, Steve Johnson, Haim Kilov, Leonard Kleinrock, Simon Lam, Tony Lauck, Mike Liu, Alex McKenzie, Dave Morgan, Bob Morris, Holger Opderbeck, Robert Ryan, Paul Santos, Phil and Debbie Scherrer, Mischa Schwartz, John Shoch, Johan Stevenson, Carl Sunshine, Jim van Keulen, Stu Wecker, Barry Wessler, and Sylvia Wilbur 對我的幫助。他們的集體協助,使本書在許多方面做了最大的改善。我的學生,特別是 Dick Bickart, Herman Gerbscheid, 和 Jan de Ruiter, 也對此書的完成幫助不少。

感謝所有貝爾實驗室計算科學研究中心的人員,謝謝他們在我

1979年夏訪問時所做的激勵性討論。我想要特別感謝 Sandy Fraser 對事務的安排，Brian Kernighan 及 Mike Lesk 啓發我有關電腦輔助教學的觀念，及 Lorinda Cherry 利用一具大型迷你電腦對本書用詞所做的建議。

在這，作者通常會感謝他們的打字員。為了不違背這個珍貴的傳統，我要謝謝 Andy Tanenbaum 對無數手稿的快速、正確的打字工作。此外，我還要謝謝在貝爾實驗室計算科學研究所中心工作的 Ken Thompson, Dennis Ritchie 及其他設計 UNIX 作業系統的人員。UNIX 的文件處理工具使得 1,231,788 個文字的手稿打字、修改工作令人愉悅自在。

IBM 及 DEC 公司允許我使用 SNA 及 DECNET 協定手冊也使我十分感激。

最後，我想要謝謝 Suzanne, Barbara, Marvin, 和 Sweetie π 。Suzanne 的耐心，特別是她適時的參與，Barbara 維持我終端機的整潔，Marvin 到達的合時，及 Sweetie π 在我寫作時能保持寧靜。

ANDREW S. TANENBAUM

目 錄

第一章 介 紹

- 1.1 計算機網路的使用 3
 - 1.1.1 網路的目的 3
 - 1.1.2 網路的應用 5
- 1.2 網路結構 7
- 1.3 網路架構 11
 - 1.3.1 協定層次 11
 - 1.3.2 層面的設計關鍵 15
- 1.4 ISO 參考模型 16
 - 1.4.1 實體層 17
 - 1.4.2 資料鏈結層 18
 - 1.4.3 網路層 19
 - 1.4.4 輸送層 19
 - 1.4.5 會期層 21
 - 1.4.6 陳述層 22
 - 1.4.7 應用層 22
- 1.5 ARPAENT, SNA, DECNET, 及公用網路 23
 - 1.5.1 ARPANET 簡介 24
 - 1.5.2 SNA 簡介 25
 - 1.5.3 DECNET 簡介 28
 - 1.5.4 公衆網路和 X.25 簡介 30
- 1.6 本書其他部份的概述 31
- 1.7 總 結 32

第二章 網路組態

- 2.1 組態設計問題簡介 35
 - 2.1.1 問題的詳述 35
 - 2.1.2 層次化的網路 37
- 2.2 連接性分析 39
 - 2.2.1 圖形理論的介紹 39
 - 2.2.2 橫斷和網路流向 44
 - 2.2.3 最大流量演算法 47
 - 2.2.4 分離路徑 51
 - 2.2.5 Monte Carlo 連結的分析 58
- 2.3 延遲分析 60
 - 2.3.1 排隊理論的介紹 61
 - 2.3.2 在平衡狀態的M/M/1佇列 63
 - 2.3.3 M/M/1 排隊網路 66
- 2.4 骨架設計 72
 - 2.4.1 設計過程 72
 - 2.4.2 產生起始的組態 75
 - 2.4.3 流量及容量的配置 77
 - 2.4.4 擾亂性試探法 80
- 2.5 區域存取的網路設計 86
 - 2.5.1 集中器位置之配置 86
 - 2.5.2 集中器位置的問題 88
 - 2.5.3 終端機佈置問題 90
- 2.6 總 結 92

第三章 實體層

- 3.1 資料通訊的理論基礎 97
 - 3.1.1 傅立葉分析 97
 - 3.1.2 頻寬受限之訊號 98

3.1.3	通道的最大資料速率	101
3.2	電話系統	102
3.2.1	電訊世界中的名人錄	103
3.2.2	電話系統的結構	104
3.2.3	當地迴路	106
3.3	傳送及多工轉換	109
3.3.1	分頻及分時多工轉換	109
3.3.2	數位傳輸	111
3.3.3	X.21 數位界面	114
3.3.4	通訊衛星	117
3.3.5	電路交換及訊包交換	121
3.4	終端機的處理方式	126
3.4.1	詢訊	127
3.4.2	多工對集結	128
3.4.3	封包的組合器 / 分解器	130
3.5	錯 誤	133
3.5.1	傳輸錯誤的現象	133
3.5.2	錯誤更正碼	135
3.5.3	錯誤偵測碼	137
3.6	總 結	142

第四章 資料鏈結層

4.1	基本資料鏈協定	147
4.1.1	協定所需的一些宣告	147
4.1.2	一個無限制的單工協定	152
4.1.3	一個單工停下來等待協定	154
4.1.4	雜訊通道的單向協定	155
4.2	滑窗協定	159
4.2.1	單一位元滑窗協定	162
4.2.2	一種管線式的協定	164

4.2.3	可以接受框不按順序而來的協定	170
4.3	資料鏈結層的例子	175
4.3.1	ARPANET 中的資料鏈結層	176
4.3.2	SNA 和 X.25 中的資料鏈結層	178
4.3.3	DECNET 中的資料鏈結層	183
4.4	協定的分析	185
4.4.1	協定的效率	185
4.4.2	協定的查證	188
4.5	總 結	195
第五章 網路層 I：點對點網路		
5.1	虛擬電路及資料片	199
5.1.1	由網路層所提供的服務	199
5.1.2	虛擬電路及資料片服務的比較	201
5.1.3	子網路的內部結構	204
5.1.4	在子網路內虛擬電路及資料片的比較	207
5.1.5	子網路服務及子網路結構的獨立性	208
5.2	投送演算法	209
5.2.1	蔓延	210
5.2.2	靜態投送	212
5.2.3	集中式的投送演算法	214
5.2.4	孤立投送	215
5.2.5	分散式投送演算法	218
5.2.6	組態更新問題	220
5.2.7	層次式投送	225
5.2.8	廣播式投送	226
5.3	擁 擠	228
5.3.1	事先配置緩衝區	230
5.3.2	封包之丟棄	231
5.3.3	定量擁擠管制	233

5.3.4	流量管制	233
5.3.5	硬封包	234
5.3.6	鎖死	235
5.4	網路層面的一些例子	239
5.4.1	ARPANET 中的網路層面	239
5.4.2	在 SNA 中的網路層面	245
5.4.3	在 DECNET 中的網路層面	248
5.4.4	X.25 中的網路層面	250
5.5	總 結	258
第六章 網路層 II：衛星及封包無線電網路		
6.1	衛星封包廣播	261
6.1.1	協議式管道配置法	263
6.1.2	純 ALOHA 和段 ALOHA	264
6.1.3	有限使用者 ALOHA	268
6.1.4	段 ALOHA 的延遲及流通量	270
6.1.5	段 ALOHA 之穩定性	275
6.1.6	控制式 ALOHA	278
6.1.7	保留式 ALOHA	280
6.2	封包無線電	282
6.2.1	夏威夷大學 ALOHA 系統	282
6.2.2	封包無線電網路的設計摘要	285
6.3	總 結	289

第七章 網路層面 III：區域網路

7.1	載子感知網路	294
7.1.1	持續及非持續 CSMA	295
7.1.2	Ethernet	298
7.1.3	無衝突協定	300
7.1.4	限制互爭協定	304

- 7.2 環狀網路 309
 - 7.2.1 記號環 310
 - 7.2.2 互爭環 313
 - 7.2.3 段環 315
 - 7.2.4 記錄器插入環 315
- 7.3 共同記憶系統 317
 - 7.3.1 處理機-記憶體之連接 317
 - 7.3.2 共同記憶體的一些例子 319
- 7.4 總 結 321

第八章 傳輸層及會期層

- 8.1 傳輸層協定之設計重點 326
 - 8.1.1 傳輸服務 327
 - 8.1.2 定址與連通的建立 335
 - 8.1.3 流量控制與緩衝處理 338
 - 8.1.4 多工 342
 - 8.1.5 延遲封包出現時之同步 344
 - 8.1.6 故障修復 349
- 8.2 封包-交換網路之互連 351
 - 8.2.1 通路 352
 - 8.2.2 互連發生之階層 355
 - 8.2.3 X.75 模型對資料片模型 357
 - 8.2.4 互連網路封包切割 361
- 8.3 會期層 364
- 8.4 傳輸層與會期層之實例 366
 - 8.4.1 ARPANET 中的傳輸層 366
 - 8.4.2 SNA 中的傳輸層與會期層 374
 - 8.4.3 DECNET 中的傳輸層 377
- 8.5 總 結 379

第九章 表現層

- 9.1 網路保密與安全 383
 - 9.1.1 傳統密碼法 384
 - 9.1.2 資料密碼化之標準 392
 - 9.1.3 鑰匙分配問題 403
 - 9.1.4 公共鑰匙密碼法 406
 - 9.1.5 鑑定與數字簽名 409
- 9.2 文句壓縮 412
 - 9.2.1 編碼一個幾乎相似符號之有限集合 413
 - 9.2.2 Huffman 編碼法 414
 - 9.2.3 前後文關聯編碼 415
- 9.3 虛擬終端機協定 416
 - 9.3.1 終端機之類別 416
 - 9.3.2 資料結構模型 417
 - 9.3.3 設計原理 420
 - 9.3.4 虛擬終端機協定之一例 421
- 9.4 檔案傳輸協定 423
- 9.5 表現層的實例 425
 - 9.5.1 ARPANET 中的表現層 425
 - 9.5.2 SNA 中之表現層 428
 - 9.5.3 NECNET 中之表現層 429
- 9.6 總 結 430

第十章 應用層

- 10.1 分散式資料庫系統 435
 - 10.1.1 關連式資料庫模型 436
 - 10.1.2 關連分散問題 441
 - 10.1.3 查詢之處理 443
 - 10.1.4 並行控制 447

- 10.1.5 當機之復元 453
- 10.2 分散式計算 456
 - 10.2.1 層次模式 457
 - 10.2.2 CPU 快速記憶模式 458
 - 10.2.3 使用者 - 伺服器模型 460
 - 10.2.4 聯營式處理器模型 462
 - 10.2.5 資料流模型 464
- 10.3 網路與分散式作業系統 472
 - 10.3.1 網路作業系統 473
 - 10.3.2 分散式作業系統 476
- 10.4 總 結 479

第十一章 書列及參考文獻

- 11.1 對進一步閱讀之建議 483
 - 11.1.1 介紹 483
 - 11.1.2 網路組態 484
 - 11.1.3 物理層 485
 - 11.1.4 資料鏈結層 485
 - 11.1.5 網路層 I：點對點網路 486
 - 11.1.6 網路層 II：衛星與封包無線電網路 487
 - 11.1.7 網路層 III：區域性網路 487
 - 11.1.8 傳送與會期層 488
 - 11.1.9 表現層 489
 - 11.1.10 應用層 490
- 11.2 按字母編排的參考書目 490

索 引 505

第一章

介紹

在過去三世紀中的每一世紀都是由單一科技所支配。第十八世紀是隨著工業革命而產生的巨大機械系統的時代。第十九世紀是蒸氣引擎的時代。在廿世紀期間，主要的技術成為資訊的搜集、處理和分配。至於其他方面的進展，我們可以看到分佈在世界各地之電話網路的建立，收音機及電視機的發明，電腦工業的誕生與空前成長，以及通信衛星的發射。

當我們邁向本世紀的尾聲時，這些領域正快速地聚合在一起。在資訊的收集、輸送、儲存、及處理方面，其差異亦日漸消失。有著數千個辦公室，而地理上散佈各地的機構，都希望最好是按個紐就能迅速地了解在最遙遠那端分支機構的情形。因此我們可以了解，當我們收集、處理及分配情報的能力正逐漸成長時，對於更複雜的資料處理能力之需求可能成長的更快呢！

縱使電腦工業和其他工業比較起來還算年輕（例如，汽車和航空運輸），電腦已在短時間內有驚人的進步。在它們存在的前二十年間，電腦系統主要被侷限在一個區域，多半是在一座大房間裡。通常，這種房間有一面玻璃牆，透過此牆，訪問者就能夠看到裡面那些巨大而神奇的電子裝置。一家中型的公司或大學可能只擁有一套或二套電腦，而大公司則最多也只有數十部電腦。當時對於「在 20 年內，電腦將會變得比郵票還小、功能和現在一樣強勁，而且會被大量製造。」這種想法只不過是科幻小說罷了。

電腦和通訊的結合對於電腦系統的組織方式有深遠的影響。在從前，人們老遠到一個電腦中心去上機跑程式。但這種做法已經很快就要落伍了。在觀念上它有兩個缺點：(1)由單獨一部大電腦來做所有的事情，(2)這樣做是令使用者把工作交給電腦，而不是將電腦交給使用者。

2 第一章 介 紹

從前的觀念，即一部電腦做所有的事，正逐漸被新觀念所取代，那就是由許多分工合作互相連接的電腦來做同樣的事情。這個系統被稱作**計算機網路** (computer networks)。本書的主題就在討論計算機網路的設計及分析。

在本書中，我們將使用“**計算機網路**”來表示一群**互相連接** (interconnected) 且**自主的** (autonomous) 電腦的集合。“互相連接”意謂著兩部電腦可以交換資訊。(此種連接不一定要經由電線；雷射，微波，及衛星也是很好的媒介)。至於“自主”我們則認為任一部電腦不能聽命於另一部，就是沒有主僕的關係存在。假使一部電腦能夠被另一部電腦強制地啟動、停止、或控制，那它就不是自主的電腦。一套像 ILLIAC IV 型式的系統，因為它有一個控制單元和很多僕從 (slaves)，所以，就不是一個網路。至於一套具有遠端讀卡機、列表機、和終端機的電腦也不是一個網路。

在計算機網路和**分散式系統** (distributed system) 的辭義之間會產生相當的混淆。Enslow (1978) 對分散式系統的定義為：它要有一個**系統廣佈** (system-wide) 的作業系統，而且是以名稱，而不是以位置來要求系統提供服務。換言之，分散系統的使用者應該以為只有一個處理器存在，但實際上却有好多個在替他工作。一些瑣碎的工作如處理器的工作分派，處理器的排程 (scheduling)，磁碟機的檔案分配，依使用者需求而做的存取動作，以及系統提供的其他功能等都必須由系統自動完成。

在另一方面，Liebowitz 和 Carson (1978) 曾說明：“一個分散式系統是將計算功能分散在許多實際計算單元上的系統”。很明顯地，這種定義包括了很多原來 Enslow 定義中所未包括的系統。

以我們的觀點，分散式系統是網路的一種特殊例子，它具有很高程度的結合力和透通性。在本質上，網路屬不屬於分散式系統，這要看它如何被使用。然而，鑒於尚未有統一的命名，在本書中我們將以“**計算機網路**”這個名字來涵蓋前述的網路以及分散系統。