

計算機概論 16 講樣書與讚詞

《計算機概論 16 講》由中央大學出版中心 2015 年出版，遠流圖書公司行銷，ISBN 978-986-56590-7-3，136 頁。次頁是書封，然後接著前言。因為「計算機概論」大多屬於操作型知識 (practical knowledge)，所以主要的學習內容放在教材網站裡 (說明於後)。

《計算機概論 16 講》的書本內容僅呈現描述型知識 (knowledge by description)，並特別留意計算機發展的故事 (人文脈絡)。本文件之末附有此書的樣本。書本的設計是：全書 16 講，採十六進制編章，也就是 0、1、...、F，每章限定 8 頁，採二進制編頁，也就是 000、001、...、111。這樣擷節體現了「永續」概念，保護樹木節省紙張；那又何必印書，全部電子不就好了嗎？這是因為筆者這一代人還是有「紙的情愫」，或許現在這一代年輕人已經沒有這種感情束縛了。

每一講都從第 0 頁開始，而它在左側。這本書是以兩面對開設計的，所以，讀者不妨以「雙頁檢視」的形式閱覽後面的樣書。書的兩側出現的箭頭與編號，是在網頁上提供的擴充文本；筆者用「本紀、世家、列傳、圖、表」作為擴充文本的分類，依序以 1、2、3、4、5 編號。

封面設計的理念是：作者邀請所有網路教材的協作者，包括一位前輩同仁陳教授，以及前後四屆的大學生助理，每人提供一幅 8 歲左右的照片，製成封面。這象徵著「兒童是國家未來的主人翁」，也是一種「永續」思維。

因為「計算機概論」大多屬於操作型知識 (practical knowledge)，所以主要的學習內容都是數位工具，放在教材網站裡，讓學習者直接操作。那些工具都是用 PHP、HTML5、JavaScript 搭配 MySQL 資料庫做成的，部份 Flash 工具因為資安限制而改寫成 Java Applets，學生需要下載執行。這個需求，提高了自學的門檻，但是在學校裡總有助教或學長姊可以幫忙，所以問題比較不嚴重。

這份教材的前身是〈計算機概論四講〉，民國 85 年發表於《數學傳播》第 20 卷 15–33 頁。它原本不是計概的講義，而是筆者為「數值分析」課程寫的講義，用在開學的前兩週，以四堂或六堂課為學生快速補充程式設計的基礎知識，以便學生順利進入數值分析的學習。這篇文章很快就被數學同仁接納，在台大、逢甲、中山大學的「數值分析」課前使用。

之後，這四講逐漸擴充，而筆者也正式接手一個班的「計算機概論」課程。在 88 學年，筆者一邊上課，一邊寫就初稿，並且開始架設教材網站。該網站現

在的網址在

<https://bcc16.ncu.edu.tw>

因為 PHP 語言版本升級的緣故，某些網頁的表現不太正常，筆者還需要找到一筆經費支援，才能展開修訂。

民國 89 年暑期，在當時理學院院長葉永烜院士的資助下，筆者錄製講義內容前 14 講的教學影片。在「磨課師」誕生之前，這些影片就具備磨課師的兩項特徵：(1) 影片不宜太長，每支僅講一個主概念；(2) 影片搭配練習，讓學習者有機會自我檢核。這些影片在民國 91 年上傳 Youtube，集結成一套 Playlist，網址如下。

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLCD590AC36147DECD>

因為在民國 91 年之後，我的時間迅速被九年一貫數學課程綱要佔滿，所以再也沒有時間補充錄影，所以最後二講的內容，始終沒有錄影。事實上這兩講內容，只有在台大數學系兼任時才教得到，對其他學生都無法在兩學期的課程中教到最後二講。因為每一講都有許多線上教材的「工作」要完成，教師應該一一驗收每項工具的學習成效，所以雖然這份教材只有十六講，卻足夠兩個學期使用。

在書籍出版之前，教材的文字部份以 pdf 檔案格式分享給同仁，並且影印發給學生。所以，雖然書籍很晚才上市，並不影響教材的傳播。由於前述原因（我的時間轉入數學教育）筆者本人退出了中央大學數學系的計概課，委由蕭嘉璋、吳維漢、黃楓南這幾位同仁輪流教授。這套教材很有彈性，中央大學的化材系、英文系都曾使用一段時間。在中央大學之外，中山大學、交通大學，以及一些科技大學，都有同仁採用。而筆者本人則在臺灣大學數學系以兼任身分開課到 94 學年。

台大數學系張鎮華教授（甫獲中央大學傑出校友之榮譽）於 107 年 8 月寫以下 Email 給我，高度讚許此書。我認為此份肯定特別重要，因為張教授本人就是數學與電腦的跨領域學者，他對計算機原理有深度的理解。

昨天放下手邊所有工作，... 專心聽你講課到第 5 講。這次是震驚。再次確認，數學系的學生應該學這個課。其他系的學生又何嘗不是。... 我一直說學數學要讀數學史，沒想到計算機史也能講得如此全面、如此到位。... 許多細節我只是略知表面、不知其理，聽了你的課十分受用。

張教授寫的「聽講」是指民國 93 年暑期錄製的那一批教學影片。

在書籍出版前，2013 年 7 月 24 日，我收到以下分享。寄自 PITER P

<1ham2006@gmail.com>，標題是「單老師 感謝您」：

單老師 您好

您收到這封信一定感到非常訝異，但我卻想感謝您，感謝您在 Youtube 上放的教學。

怎麼說勒，因為我在今年能考上國立大學碩士班，並且是第一名榜首... 最大功臣是您。

我是個高職畢業生，學的是美術。畢業後就去畫卡通、漫畫、插畫、遊戲一路走到去做電影後製特效。並經前輩介紹到 2、3 間大學任教。因為後製特效，除美術外，需要許多程式方面技術。對於沒摸過程式與根本沒基礎的我，真是非常困難。

但另一個要感謝吳寶村麵包大師，因為他讓教育部可以讓我有資格直接考碩士班。我不想進修美術卻跨領域考了資工。

當面對要考資工計算機概論，真是讀不通。但是卻因為您的影片讓我再次看，也通了很多。結果前幾日放榜...真是嚇我一跳。所以，一定要寫這封 MAIL 感謝您。雖然我們不認識，但神奇的 Youtube，改變了我的人生。

另外 2014 年 1 月 6 日收到一位林先生 <steve_lin@gemteks.com> 來信，分享他的學習經驗：

Hello 單教授/相關教職員，您好！

我是中央大學 MBA 99 級在職專班學生林 XX (994301002)，已經於 2013/01/29 離校。但因為公司職務上的需要，需要了解與電子計算機 相關的背景知識，進而在 Youtube 上有看到單老師的計 16 講，就覺得 老師上課講的很生動精彩，而且擬人化的方式解釋也很淺顯易懂。目前學生還正在花時間 一部份 一部份 線上學習中。

只是想跟老師以及相關專案的協助者說聲謝謝！有這樣的 free materials 可以用，真的對相關知識的增長有很大的幫助。

前面的紅色字型是筆者設定的。他所謂的「擬人化」就是我精心設計的「人文取徑」教學法。這套教材仍然是免費的，除了一本書的價錢以外。除了網路上的自學者以外，網頁上的擴編教材也吸引了同仁的注意。例如 2014 年 1 月 2 日收到一位楊先生 <chibaby1231@gmail.com> 來信：

單維彰老師您好：

由於您在計算機十六講的擴編教材中，對 John von Neumann 的介紹故事非常的生動傳神（頁面：<https://bcc16.ncu.edu.tw/pool/3.02>）我很希望能夠將該篇故事摘錄引用，並附上來源出處，添加於我所編寫的電腦科學史教材本文之後的延伸學習之中。添加的結果，如以下連結中的第 8—9 頁：〔以下略〕

最特別的是某日收到一盒鳳梨酥，內附一張信箋，署名「一個 60 歲老太太」說她本來只是想要跟兒女有共同話題而看我的視頻，沒想到學習之後，有時候比她的孩子更懂電腦原理，孩子們一邊驚訝一邊變得更尊敬她。沒想到現在我也是「一個 60 歲老公公」了。

Youtube 各支教學影片上的留言也蠻有趣的，例如第 0 講第 0 支影片「前言」<https://www.youtube.com/watch?v=d6i9ISzzre4>（播放 1 萬 5 千次）的留言擷圖如下。



@真舒服 11 years ago

單教授您好...

您的計概十六講，

裡面的內容非常豐富且淺顯易懂，真是太感謝您製作這門課的教學錄影，不曉得您哪是不是有這門課的講義和書籍可以提供下載或購買？



1



Reply



@SaySaySee 8 years ago

計算

電子計算機.電子只是一個技術.以前有很多不同的技術.希望未來也有其它技術.



Reply



@xw0220 9 years ago

单老师，很喜欢您讲的课，我这是第二遍在看了。之前您有提过您准备出版教材，不知道什么时候才可以买得到呢？有没有打算在大陆出版呢？谢谢~（晓伟）

第 0 講第 6 支影片「微積分」<https://www.youtube.com/watch?v=tKFEIz7RDEQ>（播放 1 萬 1 千次）的留言擷圖如下。



@心若浮尘 6 years ago

谢谢，单老师，毕业离开大学课堂很多年，再次挺到您的课程，听的很认真，受益匪浅。

[Translate to English](#)

👍 1 💬 ❤️ [Reply](#)



@SaySaySee 9 years ago

算->算的準->算的快->不要算,讓別人來算

早點聽到這樣的概念,當時學微積分,就不會鑽牛角尖想了解,然後想不通,就被當了.XDD乖乖用就對了~

[11:30...](#)

[Read more](#)

👍 💬 ❤️ [Reply](#)



@lechrisutopia 10 years ago

数学家的头脑真是性感，，，，哇，，，，

[Translate to English](#)

👍 1 💬 ❤️ [Reply](#)



@TheCndra 7 years ago

先生，我当年可能学了假的数学

第 0 講第 9 支影片「十進制、二進制與其他」<https://www.youtube.com/watch?v=tKFEIz7RDEQ> (播放 1 萬 2 千次) 的留言擷圖如下。



@JasperYeung 9 years ago

這影片幫了我電腦科考試很大忙啊! 萬分感謝 🙏🙏

👍 💬 ❤️ [Reply](#)



@johnzhang5114 4 years ago

反正看到現在 我覺得講的超級好 不知道後面怎麼樣 我覺得這種知識不讲理论发展的背景是很难让人深入的 听这个课 让我知道了计算机存在的原因 很好呀

[Translate to English](#)

KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING



計算機概論

18 講

單維彰 著

中央大學出版中心



bcc16.ncu.edu.tw

前 言

每一本書有它的使命。這本書所企圖的使命包括

- (1) 嘗試一種以紙本與電子媒體互相配合的出版模式，
- (2) 摸索一套適合大學程度的計算機概論教材內容，
- (3) 對於環保課題的省思與實踐。

在以下三節，我們詳述這三項使命的背景與目的。隨後，我們介紹本書的編輯特色，並感謝對於促成此書有直接貢獻的人們。

● 出版模式

這本書以紙本形式出版，並輔以電子媒體的補充或配合材料。所謂紙本，就是您現在看到的這本書。大體上，它與一般的出版品並無區別，只是相對於一般電腦書籍而言，它顯然相當地薄。但是，我們是一本很厚的薄書。因為，其實這本書的內容不僅於此，它有更多的文字、圖片、影音，將以電子媒體呈現給讀者。所謂電子媒體，就是這本書的主題：電子計算機，它能夠以電子形式製造、儲存、處理、傳遞和呈現資訊。而這本書（包括紙本和電子）的目標就是請讀者徹底瞭解，這些資訊是如何被電子計算機製造、儲存、處理、傳遞和呈現的。在這本書裡，我們也將解釋這本書本身是如何利用電子計算機製造的。

為什麼要採取電子媒體？因為這本書要談的就是關於電子媒體，有許多範例本來就不適合在平面紙張上呈現。再者，有許多課題，並非普遍而基礎的知識，只適合被某些特定的讀者當作參考材料；我們不希望拿這些特殊材料來增加所有讀者的負擔。第三，有某些課題經常需要修改或更新，而我們希望已經印好的書籍，能夠保存得越久越好。

既然如此，那又何必出版紙本書籍？因為書籍容易閱讀、容易攜帶，甚至還比較容易查詢（越薄越容易）。此外，我相信由於兩千年來的陪伴，人類對於紙張書籍的情愫，一時難以割捨。

至於電子媒體的傳遞，我們相信網路才是正途。所以，這本書的電子部分並不以磁碟或光碟的形式販售，而是公開在網路上。所謂公開，並不代表免費。事實上我並不相信世界上應該有「免費」的東西。除非你不需要或那東西根本不值得。我們若不是付出金錢代價，就要付出其他代價，例如勞力、時間

或知識來換取。所有類似 Free Software 和 Free Information 的標語，都應當以 Free Speech 的 free 來解釋，而不是 Free Lunch！

製作這本書的種子資源，由中央大學慷慨提供。但是隨後，這本書必須自己養活它自己。如果有足夠多的讀者來共同貢獻後續的維護、更新、發展工作，特別是電子媒體部分，這本書將是一本會成長的書。

● 教材規劃

我們想要摸索一套適合大學程度的計算機概論教材，但是究竟什麼是『適合大學程度的計概教材』呢？我想大家都還在摸索。這門課不像微積分和普通物理，有百年歷史可循。更何況，這門課的學習標的：電子計算機與其軟體，本身都還在日以繼夜地蛻變；這門課的涵蓋範疇：從數字計算到文字處理到影音呈現到今天成為全民媒體，無時不以新的面貌擴充到新的領域；這門課的學習主體：經過十二年基礎教育的大一學生，每年所帶進來的先備知識都有顯著的差異。雖然如此，我們仍然企圖根據自己的認知編撰一套大學計概教材。

就知識的深度和智能的挑戰而言，我們應當以微積分和普通物理為參考楷模。我們尚未能明確指出，如何從這些傳統學科中尋找適當的計概教材，只能說是一個模糊的目標。

相對於傳統學科而言，計算機是一個在日常生活中容易 (甚至必須) 接觸到的工具。而且，某些專業學科將計算機列為先備知識之一。由於這些原因，計概課程不能忽略其服務性與實用性。但是對學生而言，過分專注於實用與操作訓練，並不公平。畢竟，在計算機學門中，也有一些可以傳遞給大一學生的普遍性和抽象性基礎知識。這些知識，或許可以像語文和數學一樣，成為一個人終身受用的智能工具與文化財產。而我相信，傳遞這種知識，是大學教育不分專業學科的共同目標之一。

參照教育學者的建議，我們將教材粗分為三個面向：知識、文化、技能。根據前面的闡述，我們選擇具有普遍性而較為抽象的知識，組成這本書的紙本部分。談到文化，基本上就是加入人物和歷史事件的記載。除此之外，我們特別留意在講故事的時候，提醒讀者創意的形成。當我們擁有歷史下游所具備的後見之明，許多當年的關鍵性創意在今天被視為理所當然。趁著計算機的歷史尚不甚遠，我們可以利用某些案例回味這些創造的歷程，進而希望鼓勵讀者發揮他們的創意。

至於技能，事實上越來越多在過去被納入大一計概課程的基本操作訓練，如今已經被納入國民教育或後期中等教育的計算機課程。我們歡迎這種趨勢的繼續發展，它使得大學計概課程得以投注更多的注意力在知識和文化內容。由於計算機軟硬體的千變萬化，我們將所有的技能部分放入電子媒體，以期能比較有效率地更新和傳遞。

在一個學期的教學時間裡，很難涵蓋這份教材的全部。作者本身的標準教學安排，是在一學年的 3 學分課程裡，於第一學期涵蓋 0-9 講，第二學期涵蓋 A-F 講。教師們可酌情減少或加重 Unix 作業系統之文字操作介面；並將 L^AT_EX 數學排版和 HTML 註解語言這兩項比較特殊的工具，改成較為常用的文書排版工具。事實上，作者認為高中的計算機基礎課程，可採用本書的 0-4 講，而 4-9 講則大約適合大學的一門 2 學分課程。有些教師搭配其專業課程（例如資料庫、數值分析、統計計算、數學軟體等），挑選 A、B、C、D 中的一或二講，作為其課程主題的前置導引。

● 環保意識

在廿一世紀，人類最重要的公民意識之一，想必將是環保意識。有一個狀況，可能已經受到普遍的重視：文明社會中的紙張浪費。譬如，許多人已經注意到，所謂的辦公室自動化並沒有實現無紙辦公室的宣言，反而因為器材的失誤或人性的散漫而造成許多倍的紙張消耗。我另外注意到一件事：就是隨著個人電腦市場的快速變遷，搭便車而來的電腦操作書籍市場也繁榮起來。這些書動輒三、四百頁，翻開來總是看到許多視窗畫面，每張畫面大約就佔去半頁篇幅，而其排版方式可能為了避免費瑪當年因為書眉不夠寫下絕妙證明的悲劇重演，所以留下大幅空白。

原本人類伐木造紙，是爲了文化的傳承。在這個近乎神聖的宗旨之下，沒有人過問印刷業的用紙問題。但是，我們都非常明白，如今在書店中堆放著一本又一本厚厚的電腦操作書籍，它們的實際存活時間不過是一年左右。一年以後，它將隨著所書寫的目標商品而一併更新、或一併成為歷史的塵埃。當我站在這些書的面前，想像它們原本是一棵又一棵的綠樹，每每傷心得不能停留。身為資訊相關的工作者和愛好者，我自己也曾經參與這伐木的工業。因此我希望藉著這本書表達我的愧疚，並且省思一個新的做法。

電腦操作書籍並非不必要。它能銷售就代表社會有需求。而我們的想法是

讓電腦本身來教人如何操作電腦。這就是我們設計電子教材的目的。在網路上已經有許多這方面工作的先驅，包括國內的網友或企業在內。向他們致敬的最佳方式，就是在我們的電子教材中 (合法地) 引用他們的成果。

我不是說平面出版有什麼錯。沒有書籍的出版業，就沒有我們今天的文化。我想說的是，請把每一本書視為一棵樹的生命延續。那麼，一本書持續為我們服務得越久，那棵樹的壽命也就越長。

這本書從兩方面來回應對環保的省思。一方面因為電子媒體的配合，這本書的本文部分僅有 128 頁。這是消極地節省紙張。另方面企圖只選擇具有長期參考價值的內容，以及詳細的索引資料，以期能夠積極地延長這本書的使用年齡。我不認為它能像微積分或普物課本那樣長壽，畢竟計算機還是個新的領域，即使是基層知識也有快速變遷的可能。但是我們盡力而為。

● 排版方式與導讀

這本書的內容主體部分，共有十六講，每講八頁；因為每講已經很短了，所以雖然有節次但並不另外編號。在這十六講中，我們以十六進制數字 0-F 表示講次，以二進制的圖標來表現頁碼：□ 代表 0，■ 代表 1。每一講都從 0 號頁開始、7 號頁結束，在書眉左、右上角的頁碼以三個二進位制圖標來表現。但是在書的本文以外，例如您現在讀的「前言」，以及書後的索引等，都以羅馬數字書寫頁碼。

我們保持了出版業的一項排版傳統：奇數頁在右側，偶數頁在左側。因此我們也就必須違背另一項排版傳統：每一章應該由右側開始。由於這本書的每一章是由偶數頁開始，所以必須出現在左側。

在每一頁的外側邊緣，有時會出現一個箭頭符號，和下面的一串數字。例如現在看右邊。這是代表我們另外準備了一張網頁來補充跟這幾行紙本文字相關的內容。承上例，它的網址如下，您可以現在就試試看。

1.01

<http://bcc16.ncu.edu.tw/pool/1.01>

此外，書本中的每一講都會對應一張網頁，作為這一講的媒體教材。相關的擴編教材和評量工具也會放在裡面。讀者請先以網友身分註冊，再依附錄中的說明，將身分改為讀者、學生或教師。這本書的電子教材首頁是

<http://bcc16.ncu.edu.tw>

這本書的製作是以大學的計概課程為假想對象。我們假設紙本內容是老師的上課教本，而電子媒體則可以成為老師在課堂上的選擇性輔助教材、實習或操作時段的教材、課後指定教材、或同學自修的讀物。原則上，每一講的紙本內容提供兩小時的授課材料，但是媒體教材就提供了彈性非常大的可能性。技術需求較多的理工學院課程，自然應該涵蓋較多的操作技能，而文史社會專業方面的學生，則可以專注於知識的理解。

雖然我們假設的學習模型是由教師輔導學習這本書的內容，但是我相信，任何具備足夠興趣和動機的人，都可以自修完成。說這句話並不 (只是) 爲了提高這本書的銷售率，而是我們相信，這一批細心設計的電子媒體輔助教材，提供了相當豐富的學習資源來支持自修者。

● 製作群

我們的第一代製作群在西元 1999 年 9 月 17 日正式成立，寫作與版面設計的工作也隨即開始。當時的主要成員是陳韋辰、徐家珍和張智韶。他們分別是中央大學數學系 83、84 和 86 級的同學。除了負責美工設計和電子媒體教材的製作之外，他們也是我的諮詢對象。

智韶為線上教材多投入了兩年的時間，從最基礎的主機規劃與網站架設開始做起。線上教材所使用的 Php 程式，有 70% 由他獨力完成，而其餘的 30% 則幾乎全是顧正偉的創作。正偉屬於第二代製作群，這一群年輕人當中的主要幫手還有李易霖、詹博欽、林勁伍、卓昇勳、陳柏成、張鈞威和徐佳萍，他們大部分是數學系 88 級的同學。其中易霖和昇勳是主要的 Java 寫手，而博欽繼家珍之後成為 BCC16 的頭號美工。

當這份教材於 2004 年 8 月進入 Beta 版，第三代製作群也逐漸浮現。技術班底以周恩冉領銜，姜志遠等四位同學組成了影音輔助教材的開發團隊。

● 鳴謝

首先要感謝以上所述的製作群。因為這一批優秀的同伴，使我有機會實現所有實驗性的夢想。而這批同伴全是拜中央大學之所賜，她除了提供了製作這套教材的人才、環境和器具，更提供了起始經費。這筆經費來自於劉校長兆漢院士針對校內同事所發起的【創新教學計畫】，並由李教務長冠卿教授實際施行。這本書有幸成為第一批獲得此計畫補助的作品。除了這些實質的幫助，中央大學

的同仁們對我的容忍、諒解和支持，以及他們源源不絕的創意、洞見與批評，都是促成這本書的重要資源。我要特別提起李宗元、黃華民、林文淇和葉則亮四位教授，他們給了這份教材最直接的靈感和刺激。

對於試教的班級，我一方面要感謝他們的合作或犧牲，另一方面也要請他們原諒我當時因為思慮不熟或者準備不周所造成的損失。曾經被施以 Alpha 版實驗教材的班級，包括 1999 年秋季到 2003 年春季之間，在中央大學數學系、英文系與臺灣大學數學系開設的計算機概論課程。感謝蕭家璋教授從 Alpha 版開始就陪我一起試教，他的誠摯友情陪著我一路走來。還要感謝台大數學系當時的陳主任宜良教授對我的信任。

這本書獻給中央大學數學系的一位前輩：華洋教授。在我動筆之前十九年，他到建中對三年級學生宣傳中大數學系的『數學+電腦』教學理念，還發給大家一本小冊子。這個事件引發我一連串的思考與動機。我原本不確定自己想要做什麼，後來竟然在聯考的志願單上幾乎只填了數學系。雖然當時沒有考進中大，但是十七歲時種下的因卻在冥冥之中導引了後來的道路。

最後，要特別感謝中央大學數學系的陳弘毅教授。這整本書，除了少數的圖片以外，所有的排版與設計 (包括書眉上的頁碼在內)，完全是由陳教授的中文 χTeX 排版系統製作出來的。因為這套 χTeX 系統，使得中文的科技專業寫作成為一件賞心悅目的樂事，而我也將在第 7 講與讀者分享這種喜悅。

單維彰

國立中央大學數學系與師資培育中心

民國百零四年七月於臺灣中壢

<http://www.math.ncu.edu.tw/~shann>

題 綱

0

數、計算與文明・對位記數系統・計算法與計算輔助工具

圓周率・自動機械計算機・微積分・可變程式的機械計算機

可儲存程式的電子計算機・十進制、二進制與其他

1

鍵盤擺設・功能鍵與修正鍵・觸打・掃描碼

監視器・指標器・圖形操作介面・桌面・工作傷害

2

位元排列・字集、字型與內碼・ASCII・交換碼

萬碼奔騰・Big-5・中文輸入・漢語拼音

3

網際網路・TCP/IP 協定・IP 地址・網域與主機名稱

DNS 伺服機・電子郵件・帳戶、認證與授權

智慧財產權與開放軟體

4

記憶體・磁碟機・開機程序・檔案系統・檔案與磁碟管理

檔案類型與關聯・URL 與 WWW・檔案傳輸與分享

5

多工作業系統・多人共用的檔案系統・文字操作介面・遠程簽入

通行碼與網路安全・網路的四層架構・網路號碼與子網路

6

純文字檔案・檔案傳輸模式・編碼與解碼・加密與解密

編輯器・純文字文件編輯要點・UNIX 文字工具與資料流

7

WYSIWYG vs Markup・Microsoft Word & PowerPoint

字型與排版・原始碼的解讀與編譯・PostScript & PDF

HTML・L^AT_EX

8 點陣字型・色彩原理・彩色數位圖像・圖像檔案
製圖軟體・輸出裝置

9 類比與數位訊號・取樣頻率與解析度・CD 音質的數位音訊
音訊檔案・資料壓縮・描述型圖像與音訊
數位視訊・光學載體

A 資料庫表格・表格與欄位屬性・SQL 語言
關聯性・接合・應用程式介面

B 關於軟硬體的名詞・陣列計算・統計計算
變數與指派・符號計算・硬體與軟體計算・核心與組件

C 機器碼與程式語言・低階與高階程式語言
巨集・腳本・流程控制・函式・程式設計

D 無號整數・整數・二進制小數與科學記數法・浮點數
浮點數計算・整數計算・資料型態

E 周邊設備・主機板・主記憶體・中央處理器
機器碼・BCC16VM

F 電源供應器・電晶體與數位電路・邏輯閘
布爾代數

電子計算機 (*electronic computer*) 當初只是一個快速而自動執行數字計算的工具；如今演變成一種集「資訊儲存、處理與傳播功能」於一身的媒體。在這本書裡，我們將探討所謂計算 (*compute*) 的意義，並認識計算的不同面貌。

我個人並不認同電腦這個名詞。但社會大眾習用已久，所以在這本書裡有時也用。但是它純粹只是電子計算機的一個同義詞，沒有其他的意義。而除非特別指明，所謂計算機 (*computer*) 也是指電子計算機。

歷史中沒有孤立事件。我們認為，瞭解創造的歷程、認識創造與整體文化的相互影響，有助於體認創造的本質，並完備人文的素養。所以，這雖然是一本技術導向的書，卻盡量在適當的地方，加入歷史的梗概。

計算機的技術以極快的速度推進，它的各種應用也以極快的速度影響到人類活動的每一個層面。我們常聽說，自從電腦發明以來，人類的科技文明進步越來越快。然而，這種加速的模式，並非史無前例，而是有跡可循。在這一講裡面，我們要粗略回顧人類從五千年前到西元 1950 年之間，在數與計算方面的創造歷程。並介紹幾種記數系統，和它們之間的轉換算法。

數、計算與文明

考古學家認為，計算行為早在發明文字之前就開始了。數和語言，同為人類文明的濫觴。目前所知的不同人類語言有六千多種；所有的人類族群，不論從我們的觀點看來是多麼原始，都已經發展出語言。當一個族群的社會活動複雜到某種程度，就難免需要比較精確地記錄數和語言。於是有幾個古老文明創造了文字來記錄語言，其中記錄數的文字，便是數字。

數字出現於最早的文字遺跡中。若說創造文字的動機之一是為了記數，也許並不過份誇張。現在可考的最早文字，是大約五千年前蘇美人遺留下來的。這些古老文件的內容幾乎全是帳本，寫著採買、分配或管理的記錄。

人們常說，文字是創造文明的關鍵。計算未必需要文字。但是，沒有文字，就沒有一套記數的符號系統，於是無法進行複雜的計算。至少就科技文明而言，計算可能比文字更為關鍵。觀察沒有數與計算的族群部落，都無法精確地測量與管理，也無緣創造出探究科學與技術所需的基本數學工具。沒有計算，甚至於沒有文字，都仍然可以有詩歌、宗教、政治等文化行為 (例如美洲的印加與馬雅文明)，但是不容易有科技文明。

對位記數系統

照理說，數是抽象的觀念，不必倚賴任何符號系統而存在。但如果不確定一套符號，我們就連話都說不清楚，如何傳遞更進一步的想法？所以，除非特別說明，在這本書裡所提及的任何數，都是按照我們從幼年就開始學的那套系統來解讀：以阿拉伯數字為符號的十進位對位記數系統，簡稱十進制。例如 2048 的意思是 $2000 + 40 + 8$ 。換個看法，再賦予指數觀念，可以視為 $2 \times 10^3 + 0 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 8 \times 10^0$ 。所謂對位，就是每一個位置只放一個數字，而每個數字依據它所在的位置，代表不同的數。例如 2048 的 2 在千位，它代表 2000、而 4 在拾位，所以它代表 40。

古代的希臘和羅馬文明，都沒有創造出對位記數系統。中國在兩千五百年前的春秋時代，發明了這種記數法。只是當時不使用印度-阿拉伯數字。

計算法與計算輔助工具

計算方法和記數系統是唇齒相依的。採用了某種符號系統來記錄數，就必須遷就那套系統來創造計算的方法。現代的小學生，以紙、筆、橡皮擦和十進制數字當作輔助計算的工具，而以「直式演算」當作計算的方法。

兩千年前的中國人，設計以竹籤的排列方式來代表數字，稱為籌。針對一到九每個數字，各有縱、橫兩種籌，共計十八種。因為當時用空位代表零，所以發明縱橫兩式來避免忽略空位。古人約定以「一縱十橫，百立千僵」的順序來擺籌，也就是縱籌、橫籌交替出現的意思。這樣，如果看到連續兩個縱籌，就知道中間至少有一個空位。又過了一千年，才發明算盤。這時候，每個數的位置以一根桿子代表，當然就不會忽略了空位。籌和算盤都是人類為了輔助計算而發明的工具，配合這種工具而發明的計算法，分別叫做籌算和珠算；這些計算法經常是以口訣帶領一系列對籌或珠的撥弄動作。有人說算盤是史上最古老的計算機，但是算盤只能記得被計算的數：資料 (*data*)，不能記得計算的步驟：程式 (*program*)，因此不能自動執行計算工作。

圓周率

古人用籌或沙盤，解決了什麼計算問題呢？這裡舉一個例子。世界上各個古老文明，都發現圓周長與直徑的比例為一常數，稱為圓周率，記做 π 。兩千兩百年前，希臘人阿基米德用圓內接或外切正多邊形的周長來估計圓周長。當邊數

夠多的時候，多邊形周長差不多就是圓周長。當邊數趨於無限大的時候，內接正多邊形的周長就收斂到圓周長。他發現以下算法：令 P_n 是直徑為 1 的圓內接正 K_n 邊形的周長，其中 $K_n = 2^n \times 6$ ，則 $P_0 = 3$ (內接正六邊形的周長) 而

$$P_{n+1} = K_n \times \sqrt{2 \left(1 - \sqrt{1 - (P_n/K_n)^2} \right)}, \quad n \geq 0 \quad (1)$$

4.13 阿基米德利用這個公式計算到 P_4 ，提出圓周率的估計值是 $\frac{22}{7}$ 。

五百年後，三國時代的山東人劉徽，在他的九章算術注裡面，也講解了與阿基米德一樣的想法，並稱之為割圓術。他說「割之彌細，所失彌少，割之又割，以至於不可割」！劉徽計算到內接正 3072 邊形的周長。再過兩百年，南北朝時代的河北人祖沖之，更割到一萬多邊 (P_{11})，且以九位數計算，提出一個漂亮的估計值 (密率)： $\frac{355}{113}$ 。若有一個直徑 10 公里的圓，以此估計值計算的周長只比真正周長多了 3 毫米。這種準確度保持了一千年的世界第一。劉徽和祖沖之都用籌算。

自動機械計算機

1.05 從十五世紀開始，歐洲人的海上探險大有斬獲，而在十六世紀進入航海熱潮。航海若要有經濟價值，總不能一直處在「冒險」狀態。以可靠而安全的航海為目的，帶動了許多科技發展，包括天文學。不論是天文的觀測與研究，或是當時日益複雜的科學、航海與經濟活動，都需要大量而精密的計算。例如測量需要三角函數，所有三角函數的值可由正弦函數 ($\sin$) 導出。托勒密已經在西元 150 年時計算了從 0° 到 90° 每 $\frac{1}{4}^\circ$ 的正弦函數值。這是古代計算的最重大成就之一。但是， $\frac{1}{4}^\circ$ 的差異，在 100 公里外將造成幾乎 8 公里的差距，顯然我們還需要更精細的 $\sin$ 函數值。這些值該怎麼算？

又例如，當時已有指數與對數的概念。考慮像以下 s 那樣複雜的計算，若利用指數 (10^x) 與常用對數 ($\log x$) 函數，就可以簡化成四則運算：

$$s = \sqrt{\frac{1.23}{1 + \sqrt[4]{1 + 4.56^2}}} \quad \longleftrightarrow \quad \begin{aligned} r &= 2 \log 4.56, \quad u = \frac{1}{4} \log(1 + 10^r) \\ v &= \frac{1}{2} \left(\log 1.23 - \log(1 + 10^u) \right), \quad s = 10^v \end{aligned}$$

問題是 10^x 和 $\log x$ 要怎麼算？

從十六世紀開始，西歐對於上述計算的需求壓力極大。當時的算法非常複雜，而且不夠完整。即使那些有公式的計算（例如 (1) 式），也只有專業人士才能操作，然後將結果編成表格，印刷成書，供人查詢。但所製的表格往往不夠精細，而且有很多錯誤。

有些工作需要複雜的計算程序和技巧，例如製作正弦與對數函數表。但有些計算只是呆板的例行工作，例如在帳簿上做簡單數字的加減。呆板的計算令人厭倦卻容易出錯，況且勞神費時，乃智者所不願為。十七世紀的齒輪連桿等機械零件已經普遍，法國人 Pascal 在十九歲的時候，利用這些機件為他父親設計了一部機器，只要扭轉撥盤輸入數，並且轉動一旁的搖桿，裡面的齒輪就會完成加法，將答案顯示在撥盤上。這是機械型自動計算機的開始！

3.12

不同於籌和算盤的是，Pascal 加法器能夠將資料和程式都放在機器裡面。使用者不需特別的技巧，只要學會輸入數字、提供動力和讀取輸出。但是，此種計算機的程式是固定在機器裡面的，因此它只能做固定的工作。換句話說，它不是可變程式 (*programmable*) 的計算機。

微積分

加法器不能用來計算正弦和對數函數表。問題的癥結倒不是機器不夠複雜，而是根本沒有一套可以讓機器自動執行的算法。托勒密的算法需要平面幾何和三角函數的知識，非常人能懂。而且他已經將這些知識發揮到極致，若非發現新的方法，很難超越托勒密的成就。

1.06

第十七世紀，連續幾個具有超凡智慧的心靈，降臨西歐。這些人不但開創了自動計算機，也在數學上首度超越了古希臘的成就。其中一支數學，接續了阿基米德的工作，創造出一套超高效率的計算方法，驚人地化簡了許多複雜或大量的計算問題，今天統稱為微積分。利用微積分，我們發現許多圓周率的算法，例如以下算法可比阿基米德的 (1) 式簡單多了：

$$\pi = 4 \times \left(1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \frac{1}{9} - \cdots \right) \quad (2)$$

而若 $0 \leq \theta \leq 360$ 是個角度，令 $x = \theta\pi/180$ ，則

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \frac{x^9}{9!} - \cdots \quad (3)$$

其中 $n! = 1 \times 2 \times 3 \times \cdots \times n$ 。至於對數，則對於 $0 \leq x \leq 1$ 可計算

$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \cdots \quad (4)$$

而 $\log x$ 就是 $\ln x / \ln 10$ 。對於其他不在 1 與 2 之間的正數 x ，我們也有簡單的方法來計算 $\ln x$ 。

(2)-(4) 三式理論上都需要計算無窮多個數。但實際上「算之彌多，所失彌少」。只要計算前面幾項，就會獲得若干位準確數字的結果。如果滿意了就不必再算下去，否則就繼續算，算得越多越準確，直到滿意為止。例如以 (3) 式計算 $\sin 90^\circ$ ，我們知道正確答案是 1。計算前三項得 1.00452485，計算前五項就得 1.00000354。像 (2)-(4) 的計算公式，不再需要複雜的技巧，只要四則運算而已。而且它們的計算步驟有明顯的程序可循，根本不需要數學知識和智慧來判斷。

可變程式的機械計算機

有了微積分，圓周率、正弦函數與對數函數表，還有其他許許多多的科學與工程計算問題，都能找出類似 (2)-(4) 式的算法：以某種明確的程序，重複執行簡單的四則運算。大家很快就瞭解到，像 Pascal 加法器那樣的自動計算機，此時顯得更有意義。只要恰當地設計，機器也可以計算原本需要高度數學知識的問題。於是，許多人開始設計功能更複雜的機械型計算機。微積分發現者之一的萊布尼茲也設計了一部，可以做整數的加減乘除。此後的各種設計，不絕如縷。但是不論多麼複雜，還是只能做幾種固定程序的計算。到了十九世紀，才由 Babbage 開始了下一代的設計。

3.01 Babbage 二十二歲從劍橋獲得數學博士學位，當時是位被認為很具潛力的年輕數學家。大約在 1832 年，他領悟到：一台理想的計算機，必須能夠依指令改變其執程序。也就是可變程式的概念。這是個前所未有的偉大理想。他立刻埋首設計分析機 (*Analytical Engine*) 以實現他的理想。整個設計在 1838 年完成，就連寫程式的方法都想好了。可惜當時的技術無法配合，Babbage 終其一生未能完成一台計算機。但是他始終受到英國皇家學會的信任和資助，而且留下鉅細靡遺的設計圖 300 多張、筆記 6000 多頁，和許多半成品。

4.01
4.02 Babbage 的分析機，直接成為後來各種計算機的設計藍圖。由於技術的進步，在他身後不久，就有人製造出來這種機器。此外，也有人利用摩擦的輪盤設計出類比型機械計算機，這是用來做積分的好工具。到了二十世紀，利用電

話交換機元件 (relay) 代替齒輪，設計了電機計算機，例如 Mark I。雖然它需要 6 秒完成一次 23 位數的乘法，它仍然在 1940 年代風光一時，造就了第一批計算機工程師和程式設計師。當時，美國的計算機發展並不特別突出。西歐列強都有自己的發明。例如 1936 年，德國一位青年 Zuse 在自己家裡製造了電機計算機，1941 年完成的第三代機器 Z3 已經有商業價值。1943 年，Zuse 提出用真空管製造電子計算機的想法，但因戰亂未能實現。

可儲存程式的電子計算機

1943 年四月，美國賓大向炮兵指揮部的彈道實驗室提出一項十五萬美元的計畫：以真空管製造電子計算機 ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer)。只過了七天就獲准。當時，熱衷於電機計算機的人佔大多數，他們認為電子計算機在技術上不可行。例如真空管的品質不穩，何況有一萬八千根管子，供電、散熱、偵錯和維修都很困難。使得 ENIAC 夢想成真的主要功臣是兩位電機工程師 Mauchly 和 Eckert。他們以原創的方法，克服了一個又一個前所未見的技术障礙。

因為齒輪可以有十個齒，而交換機也可以有十個位置，所以早先的機械和電機計算機，都是以機件模擬十進制數字的計算。ENIAC 雖然使用真空管，但還是沿用十進制數字的設計。另一方面，ENIAC 的計算程序雖然可變，但並不儲存在計算機裡面。它是靠著電纜線以不同方式連接計算元件，達到改變計算程序的目的。每改變一次程式，就要將所有的電纜線拔掉重插。插好了之後，整個計算機就是一條長長的電路，數字資料由一頭輸入，以電子形態一路流到另一頭。這些資料在計算機裡面一直向前流動，不會停留。

1944 年夏末，von Neumann 和 ENIAC 計畫搭上了線。他是二十世紀最重要的數學家之一，可能也是歷史上心念最快的人之一。他在瞭解 ENIAC 的設計之後，迅速提出兩點建議：改用二進制 (*binary*) 數字和允許儲存程式 (*stored program*)。von Neumann 指出，既然電子元件自然可分兩種狀態：有電、沒電，所以電子計算機應該要模擬二進制數字，才是最簡單的設計。為了讓計算機能夠方便地執行不同的計算程序，von Neumann 認為程式和資料一樣，都要儲存在計算機裡面。這個理想，就衍生了一個新的技術問題：如何讓電流停留？於是產生了今天的記憶體 (*memory*)。

但是 ENIAC 已經來不及修改。世界上的第二部電子計算機是由 Wilkes 在

英國製造的 EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Computer)，它是第一部可儲存程式的電子計算機。von Neumann 本人也在高等研究院 (Institute of Advance Study) 設計、製造了一台符合他自己理想的電子計算機，就稱為 IAS 電腦。

ENIAC 並未參加第二次世界大戰，因為它在 1946 年才全功能運轉。它的計算速度可達每秒 333 次 48 位數的乘法。這種速度在當時已屬驚人，然而真正造成震撼的，是「電子」計算機這個理想竟然可行！許多人都認識到這個工具的巨大潛力。很快地，其他類型的計算機研究計畫都停止了，以 von Neumann 的設想為藍圖的電子計算機，成為技術主流，發展出今日所見的計算機面貌。詳情請看後面的十五回講義。

十進制、二進制與其他

對位記數系統並不一定非是十進制不可，古代也有人用過十二進制或六十進制的對位記數系統。一般而言，只要取一個整數 $K > 1$ ，就可以定義集滿 K 就進入下一位的對位記數系統，簡稱為 K 進制。在 K 進制系統內，需要 K 個數字來代表 0 到 $K - 1$ 之間的數，例如十進制需要十個數字，我們通常使用的是 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 或零壹貳參肆伍陸柒捌玖。

令 $(b_n \cdots b_1 b_0)_K$ 是一個 K 進制數字，其中每個 b_i 代表一個 K 進制的數字，這些數字各代表一個數。在這本書裡，除了十進制以外，我們經常使用二進制、八進制 (*octal*) 和 十六進制 (*hexadecimal*) 對位記數系統。也就是 K 為 2, 8 或 16 的情況。為了區別，我們在這種數字的右下角標注 $_b$ 、 $_o$ 和 $_h$ 符號。為了方便，我們不再發明新的數字符號，而是以 0 1 作為二進制需要的兩個數字、0 1 2 3 4 5 6 7 作為八進制需要的八個數字、0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F 作為十六進制需要的十六個數字。阿拉伯數字 0, 1, ..., 9 在所有進制系統中，都和它們在十進制系統中代表了同樣的數。而十六進制的數字 A B C D E F 依序代表十進制的 10 11 12 13 14 15。

以下我們只考慮自然數 (正整數或零)。根據對位記數系統的定義：

$$(b_n \cdots b_1 b_0)_K = b_n K^n + \cdots + b_1 K + b_0 \quad (5)$$

可以輕易地將 K 進制數字轉換成十進制。例如 $11010_b = 2^4 + 2^3 + 2 = 26$ ， $127_o = 8^2 + 2 \times 8 + 7 = 87$ ， $7E_h = 7 \times 16 + 14 = 126$ 。

利用 (5) 式也可以將一個數 L 寫成 K 進制數字 $L = (\cdots b_1 b_0)_K$ 。令 $L \% K$ 代表 $L \div K$ 的餘數 (如果 $L < K$ 那 $L \% K = L$)，令 n 代表 0。則 $b_n = L \% K$ 。接著我們讓新的 L 代表原來的 $(L - b_n)/K$ ，再讓新的 n 代表 1，則又可以寫成 $b_n = L \% K$ 。然後讓新的 L 代表前一步的 $(L - b_n)/K$ ，再讓新的 n 代表 2，再做 $b_n = L \% K$ 。這樣一直到 $L = 0$ 為止。用一些時髦的符號，我們可以把前面囉哩囉唆的「食譜」寫成很炫的形式。雖然炫，卻還不夠專業，但是現在暫時

- 0 $n \leftarrow 0$ 夠了。這就是所謂的演算法 (*algorithm*)。
- 1 如果 $L = 0$ 停止，否則繼續 例如求 $L = 2684$ 的十六進制數字，則 $b_0 =$
- 2 $b_n = L \% K$ $L \% 16 = 12 = C_n$ ，然後 L 變成 167，則
- 3 $L \leftarrow (L - b_n) \div K$ $b_1 = L \% 16 = 7$ ，然後 L 變成 10，則 $b_2 =$
- 4 $n \leftarrow n + 1$ $L \% 16 = 10 = A_n$ ，然後 L 變成 0，結束。得
- 5 回到步驟 1 到 $L = A7C_n$ 。

由於 $8 = 2^3$ 和 $16 = 2^4$ ，所以八、十六進制與二進制之間的轉換特別簡單：三位二進制數字可以換成一位八進制數字，四位二進制數字可以換成一位十六進制數字。例如

$$\begin{aligned} 127_o &\longleftrightarrow (001_b)(010_b)(111_b) \longleftrightarrow 1010111_b \\ 7E_n &\longleftrightarrow (0111_b)(1110_b) \longleftrightarrow 1111110_b \end{aligned}$$

這本書的講次用十六進制數字編排，而每一講的頁碼就是以二進制數字編排。我們用空心格表示 0、實心格表示 1。例如您現在正在讀第 0 講的第 7 頁。因為每一講恰有 8 頁，而且頁碼從 0 開始，所以頁碼在 0-7 之間，需要三位二進制數字。您現在隨便翻開一頁，可以說出它是第幾講的第幾頁嗎？

結語

長遠看來，語言和數字就是最基本的計算工具，而記數系統是最初步的計算方法。文字之初到類似「籌」的原始計算工具，大約隔了三千年。籌與算盤相距一千年，算盤與 Pascal 加法器相距六百年。而後兩百年有 Babbage 的可變程式機械計算機，再一百年而有電子計算機並產生儲存程式的想法。而 ENIAC 與網際網路和個人電腦，相距大約三十年。總括而言，電子計算機的發明，並非 1940 年代靈光一閃的成果，而是人類五千年來挑戰計算問題所創造的工具之一。今天我們所感受技術進步的加速狀況，其實是從五千年前開始的。

5.01

5.02

《計算機概論十六講》

是一本敘事體的教科書，作者以每講八頁的篇幅，講述電子計算機（電腦）的核心基礎知識，行文依循歷史的脈絡，連結日常生活的經驗，強調突破性創意的關鍵所在，並兼顧知識內容的認識與理解。這本書搭配一組教學網頁，操作方面的指引與練習，以及關於計算機本體的舉例，都放在線上數位教材裡。

