
前言

〔啟迪〕浸淫在數位電腦之電路裡的愜意之感，
就如同站在高山之巔或隱匿在花瓣之中那種感覺。

— Robert M. Pirsig
《Zen and the Art of Motorcycle Maintenance》
(禪與機車維修之藝術)

這是一本論述如何設計電腦硬體的書，尤其和設計嵌入式應用所使用的小型機器有關。本書只專注在硬體之上。目前已經有許多關於如何為嵌入式系統撰寫程式的書（例如 Michcael Barr 所著，由歐萊禮所出版的另一本好書《Programming Embedded Systems in C and C++》）。現在所欠缺的是一本能夠涵蓋開發嵌入式硬體之具體細節的書。當然，也已經有很多書在討論微處理器，但沒有任何一本書會把「建立嵌入式電腦以及讓它運作」的完整知識放在一起討論。

我一直都想找個時間寫這本書。本書的原始內容要追溯到 1993 年，當時我正在澳洲墨爾本的 La Trobe 大學授課。（在最後一刻）我被指定為大學二年級的學生開授一門微處理器的課程。那門課的指定課本實在是不怎麼樣。它談到了電腦的硬體，但是卻沒有實際說明要如何進行設計。所談到的只是個理想的情況 — 反正設計完之後它便應該能運作就是了，完全沒有考慮到時序、電壓、電流或其他各種重要因素。雖然那是一本剛出版的新書，但是所討論的元件卻早已過時。該書所討論的記憶體晶片容量為 128 bytes。（沒錯，是 128 bytes，不是 kilobytes！）那是一本與我所講授的課程既不相關又沒有用處的教科書。

然而在跟許多出版商代表談過之後，我發現當時的確沒有太多更好的選擇。因此，我編寫了詳細的授課筆記，並且告訴學生們忘掉那本課本。由於這些筆記是在短時間之內完成的，因此內容當然也很粗糙，不過它主要是用來說明不清楚的地方以及彌補資訊之不足。但我決定有一天，我一定要寫出一本適合授課的書。

現在，由於有機會為歐萊禮寫書，使得這個願望得以實現。我早已經不在 La Trobe 大學授課；多年前我便已離開學校並創立了自己的公司。因此更勝於以往，我希望能把真實世界裡的知識以及建立能夠運作的嵌入式系統所必需的經驗融合在一起。這本書將著眼於創造和建構嵌入式硬體的設計程序以及確定它能夠運作的分析程序。除了最基本的數位和類比電子學知識，我並不對讀者所具備的背景知識做任何的假定，唯一的要求就是希望讀者善用自己具有分析能力的大腦。如同我在一開始所提到的，這本書只跟硬體有關，所以讀者不會找到有關軟體方面的資訊。相關的內容適合在其他書裡討論。

如同寫得好的軟體一樣，設計良好的硬體也有它美妙之處。在嵌入式電腦當中，你可以了解機器的各個層次，得知電流在電路中流動的現象，以及軟體執行複雜演算法的情形。事實上，如果不了解硬體就寫不出嵌入式軟體；同樣的，如果不了解軟體也無法設計出硬體。你對嵌入式電腦投入的程度必須超過桌上型電腦才行。但最棒的是，這當中樂趣無窮。

選擇本書所使用的晶片與設計時，我特別挑選了一些容易完成但又相當實用的設計。我自己的公司（Embedded）除外，我與書中所提到的任何公司或企業都沒有任何商業上或其他形式上的往來。不過，讀者或許會發現有不少元件來自特定的廠商。之所以使用他們的晶片，僅僅反映了基於我自身經驗的個人偏好罷了。這些廠商所生產的晶片不僅容易使用，可靠而堅固，具有良好的技術支援，更提供了完整而廣泛的技術資料。換言之，對一本供初學者使用的書籍而言，它們具備了所有必要的條件。

這本書裡大部分的設計看起來都很簡單，事實上也確實是如此。這裡所選的都是一些簡單的建構元件（building block），讀者可以加以組合運用，以完成心目中所要的嵌入式系統。當然目前也有一些相當複雜的微處理器以及支援晶片，不過利用它們所做出來的設計極為複雜，只會讓人感到困惑與沮喪罷了。在這本書裡讀者不會看到這些東西。本書的目的是要開發小型、廉價並且相對簡單的嵌入式應用。希望讀者認為這些內容很有用。

本書架構

本書分成三個部分。第一部分涵蓋基本觀念以及背景知識。第二部分探討嵌入式處理器，以及把它們整合進系統的設計程序。第三部分討論周邊裝置，以及嵌入式系統連接它們的方法。

第 1 章會介紹電腦架構的基本概念，並討論嵌入式系統的基本原理。第 2 章會為讀者提供若干電子學理論的背景知識，並介紹一些重要的觀念。如果讀者已經讀過電子學，可以直接跳到第 3 章，這一章專門用來介紹如何為嵌入式系統提供其所需要的電源。第 4 章除了會介紹如何實際製作嵌入式電腦系統以及如何除錯，也會討論到如何保護嵌入式電腦，以避免它受到雜訊的干擾。

第 5 章開始是本書的第二部分，讀者會在這裡看到本書的第一個嵌入式電腦架構，Microchip PIC。PIC 是一個麻雀雖小但五臟俱全的電腦，因此讀者應該會覺得開發嵌入式系統是件簡單而有趣的事。第 6 章會探討 ATMEL AVR，這是另一種嵌入式處理器，很適合使用在小型而簡單的應用上。同時，讀者還會學到如何為以匯流排為基礎的處理器添加記憶體與周邊裝置，並了解基本的記憶體管理知識。第 7 章會探討 Motorola 68000 系列的處理器。這系列的晶片已經被使用了好一段時間，並且如今仍被廣泛使用著。如果讀者想在具備一些嵌入式系統的經驗之後，進一步了解更複雜的處理器，這也是個不錯的起點。第 8 章會探基於數位訊號處理 (Digital Signal Processing, 簡稱 DSP) 架構的處理器。這類處理器專門用來處理數學運算以及複雜的演算法，尤其適合用在控制與取樣的應用上 (例如處理數位訊號)。

本書的第三部份，讀者會學到如何利用周邊裝置來為嵌入式電腦添加額外的功能。第 9 章涵蓋了 SPI 與 I²C，這兩種通訊協定讓你得以為微控制器添加各式各樣的小型周邊裝置。第 10 章涵蓋了各種序列介面，嵌入式系統可以透過它們連上主機或外部的周邊裝置，例如數據機。我們還會討論 RS-232C、RS-422、紅外線傳輸以及 USB。有關網路的部分則會在第 11 章加以說明，其中讀者將會學到如何為嵌入式電腦添加兩種價格低廉的工業級網路 (RS-485 與 CAN)。此外，在這一章裡，讀者也會學到如何為嵌入式系統添加乙太網路埠 (Ethernet port)，系統透過它方能連上其他電腦、伺服器、閘道器 (gateway) 以及網際網路 (Internet)。最後，第 12 章要來看的是與真實世界的介面。這一章將會探討如何把類比訊號轉成數位訊號以便進行處理，以及相反的，如何把數位訊號還原成類比訊號。讀者將會學到如何在嵌入式系統中使用感應器 (sensor) 來量測溫度、光線、壓力、加速度、磁場，以及如何利用嵌入式電腦來控制小型的電動馬達。

誌謝

在過去，我常常在序言看到作者如何感謝編輯所提供的協助。現在我才真正明白這些幫助的重要性。我要特別感謝我的編輯 Dr. Jon Orwant。這本書因為有他的幽默感和深入的見解與智慧而變得更好。

如同讀者早已熟知的，歐萊禮出版了許多精心編排的圖書。我要感謝製作小組：Lorrie LeJeune、Tatiana Diaz、Larry Sweazy、Jessamyn Read、Rob Romano、Norma Emory、Laura Gabler、Emma Colby、Mike Sierra、Ellie Volckhausen、David Futato 以及 Philip Dangler 的大力協助。他們為使得本書更具可讀性所做的貢獻不亞於我撰寫本書時所做的努力。

我還要感謝 Dr. Duncan Campbell 在校對本書時的友情贊助和鼓勵。Duncan 的友誼與專業協助幫助甚多。

我的好友 Geoff McDonald 對於本書的內容提供了許多有用的建議。他也同時協助校對的工作，感謝他所提供的所有幫助。

我還要感謝 Dr. Jeff O'Keefe 長期以來的友誼和支持。我們從大學時代便是好朋友，在二年級上實驗課的時候，我們甚至做過炸毀積體電路與使用光線照射講師的事！

謝謝 Michael Barr、John Redford 以及 John Watlington 幫忙審閱本書草稿，並提供許多有用的建議。

謝謝 Anthony Maeder 教授以及昆士蘭科技大學（Queensland University of Technology）電機暨電子系統工程系（School of Electrical and Electronic Systems Engineering）全體職員的協助。

謝謝 Agora 所有職員的後勤協助。你們提供了相當大的幫忙。

我還要感謝我的朋友與同事：Michael Lees、David Nicholls、Peter Stewart、Mark Gentile、Professor John Devlin、Richard Wiltshire、John Williams、Michelle 和 Robert Salier 以及 Dr. Peter O'Shea。也謝謝 Louisa Sciacca 與 David Kerven 為書中的一些範例提出想法。

最後也是最重要的，我要謝謝家人給我的愛與支持。特別要感謝我的姊姊 Kris、他的丈夫 Duncan 以及兩位外甥 Andrew 與 James，他們的愛與幽默感讓我的生活變得更有意思。我還要感謝一直支持我的 Chris 與 Jeff Goopy，以及我的堂表兄弟姊妹們 Theo 與 Maree、David 與 Jenevieve、Michael、Andrew 與 Karen、Antony 以及 Fiona 的友誼與支持。尤其要感謝我的兩位叔叔 Vince 與 Dave Catsoulis，他們告訴我愛、榮譽以及健全人格的意義何在。

線上資源

有關各種元件的最新技術資料，應該都可以從元件製造商的網站上取得。至於一些比較便宜的元件，某些製造商（例如 Analog Devices 與 Maxim）甚至還允許你直接透過他們的網頁索取免費的樣品。

以下列出一些可能有用的網址：

http://www.agere.com	Agere Systems 公司
http://www.agilent.com	Agilent Technologies 公司
http://www.altera.com	Altera 公司（可程式化邏輯）
http://www.analogdevices.com	Analog Devices 公司
http://www.atmel.com	ATMEL 公司
http://www.cirrus.com	Cirrus Logic 公司
http://www.embedded.com	《Embedded Systems》雜誌

http://www.gnu.org	GNU 自由軟體基金會
http://www.htsoft.com	Hitech 公司 (商用 C 編譯器)
http://www.irf.com	International Rectifier 公司
http://www.matrixorbital.com	Matrix Orbital 公司 (顯示器)
http://www.maxim-ic.com	Maxim 公司
http://www.microchip.com	Microchip
http://e-www.motorola.com	Motorola 公司 (半導體部門)
http://www.mskennedy.com	M. S. Kennedy 公司 (馬達控制)
http://www.national.com	National Semiconductor 公司
http://www.st.com	ST Electronics 公司
http://www.taosinc.com	Texas Advanced Optical Sensors 公司
http://www.ti.com	Texas Instruments 公司
http://www.vishay.com	Vishay 公司 (光電)
http://www.winbond.com	Winbond 公司 (週邊元件)
http://www.xicor.com	Xicor 公司 (非揮發性記憶體)
http://www.xilinx.com	Xilinx 公司 (可程式化邏輯)

本書慣例

內文

原始碼

Signal (高電位動作)

Signal (低電位動作)

十六進制數字會前置 *0x* 符號。

二進制數字會前置 % 符號。

K 代表 1024，而 *k* 代表 1000。

建議與問題

歐萊禮公司是世界性的電腦資訊出版公司。我們永遠樂意聽到讀者對出版品的意見，包括如何讓本書可以更好的建議、指正本書的錯誤、或是讀者建議本書往後改版時，應該再加進來的其他主題。以下是本公司的聯絡資料：

A12 | 前言

美商歐萊禮股份有限公司台灣分公司

電話：(02) 2709-9669

傳真：(02) 2703-8802

網頁：<http://www.oreilly.com.tw>

電子郵件：

sales@oreilly.com.tw

(業務部)

edit@oreilly.com.tw

(編輯部)

bookquestion@oreilly.com.tw

(書籍內容的問題)

與本書有關的線上資訊(包括勘誤、範例程式、相關連結)：

原文書

<http://www.oreilly.com/catalog/dbhardware/>

中文書

<http://www.oreilly.com.tw/chinese/other/dbhardware.html>

聲明

本書大部分的資訊所依據的是個人的知識與經驗。雖然我相信這些資訊內容都是正確的，不過對於其有效性，我個人並不負任何的責任。本書的硬體設計、軟體以及說明文字僅供教學使用。讀者有責任自行驗證所有的資訊。進行設計時，應該使用原始廠商所提供的資料。

本書作者、Embedded Pty. Ltd. 以及歐萊禮公司，對於本書所提到的任何硬體或軟體在各種特殊用途上的適用性不提供任何授權、代理或保證，也不保證使用任何產品、系統、電路或軟體時，所可能產生的各種必然的或無預警的損害。本書所提到的硬體或軟體，並無意圖設計成任何支援或維持生命的系統，也不做此授權。這些系統的故障可能會使個人受到傷害或死亡、遺失資料或資訊、或者造成財產受損。讀者若要把本書的任何設計用於任何實際的用途上，直接或間接使個人受到傷害或死亡、遺失資料或資訊、或者造成財產受損，而導致訴訟時，必須讓本書作者、歐萊禮公司、Embedded Pty. Ltd. 以及這些公司的股東、經理人、員工或經銷商免於該項訴訟，並且不需負任何訴訟、費用、損害與賠償或者任何律師費用。

— John Catsoulis

澳大利亞，布里斯班市

October 2002

jtc@embedded.com.au

<http://www.embedded.com.au>