

Embedded System Principle and Application

嵌入式系統原理與應用

Course Administration

- ❑ Instructor: 張延任
ychang@nchu.edu.tw
Office: 918
- ❑ TA: 王健合 Lab: 1003
- ❑ Course Web: iLearning
- ❑ Text:
 - (1) *ARM system-on-chip architecture (2/E)*
Authors: Steve Furber
Publisher: Addison-Wesley
 - (2) *Arduino 實作套件*

Course Goals

- ❑ This course aims to train the students to understand (design) an embedded processor, and then integrate it with the peripheral to build an embedded system.

- ❑ Course prerequisites
 - Digital Logic Design
 - Computer Organization (Architecture)

Course Contents

- ❑ This course consists of two phases.
 - 1) The first phase is to introduce the ARM processor architecture and its features.
 - 2) Based on the ARM processor, in the second phase we try to develop an embedded system. Finally, the students have to finish a project to practice the entire design flow.

1. An Introduction to Processor Design
2. The ARM Architecture
3. ARM Organization and Implementation
4. The ARM Instruction Set (including Thumb Instruction)
5. Memory Management
6. Interrupt Controller
7. DMA Controller
8. I/O and UART
9. Ethernet

Grading Information

□ Grade

- Midterm Exam ~25%
- Final Exam ~30%
- Quiz ~20%
- Homeworks ~25%
/Practices

嵌入式系統原理與應用	
3/3	
3/10	
3/17	
3/24	
3/31	補假
4/7	
4/14	
4/21	
4/28	Midterm Exam.
5/5	
5/12	
5/19	
5/26	
6/2	
6/9	
6/16	Final
6/23	Final Exam.

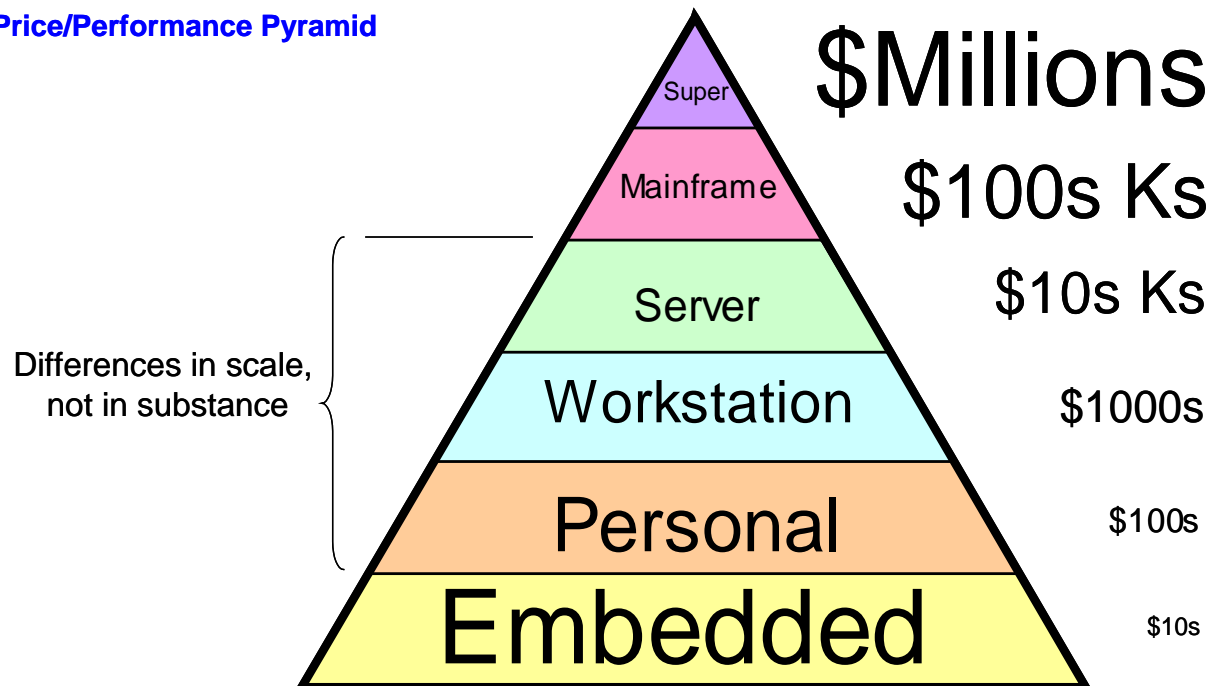
Lecture 00

Fundamentals

Computer Classes

Feature	Desktop	Server	Embedded
Price of system	\$1000–\$10,000	\$10,000–\$10,000,000	\$10–\$100,000 (including network routers at the high end)
Price of microprocessor module	\$100–\$1000	\$200–\$2000 (per processor)	\$0.20–\$200 (per processor)
Microprocessors sold per year (estimates for 2000)	150,000,000	4,000,000	300,000,000 (32-bit and 64-bit processors only)
Critical system design issues	Price-performance, graphics performance	Throughput, availability, scalability	Price, power consumption, application-specific performance

Price/Performance Pyramid



Computer Classes

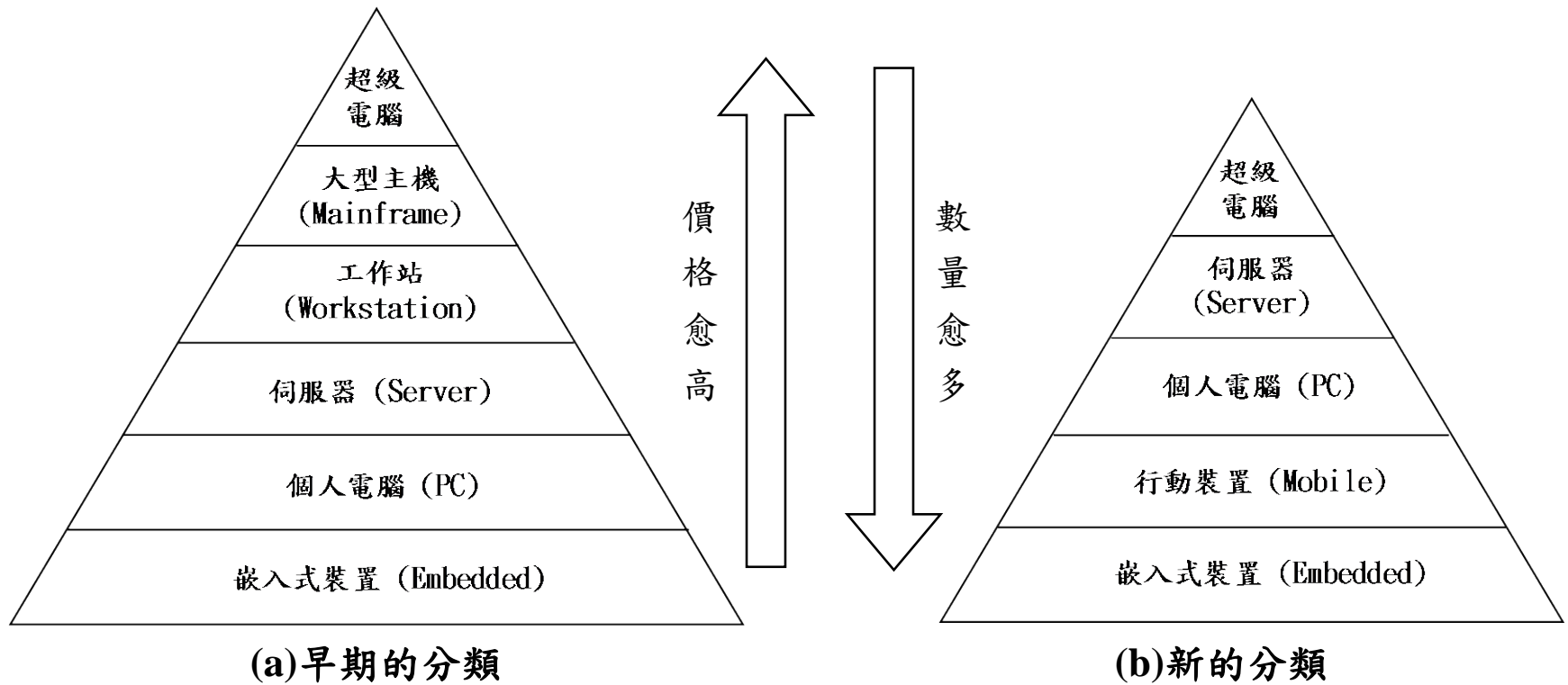
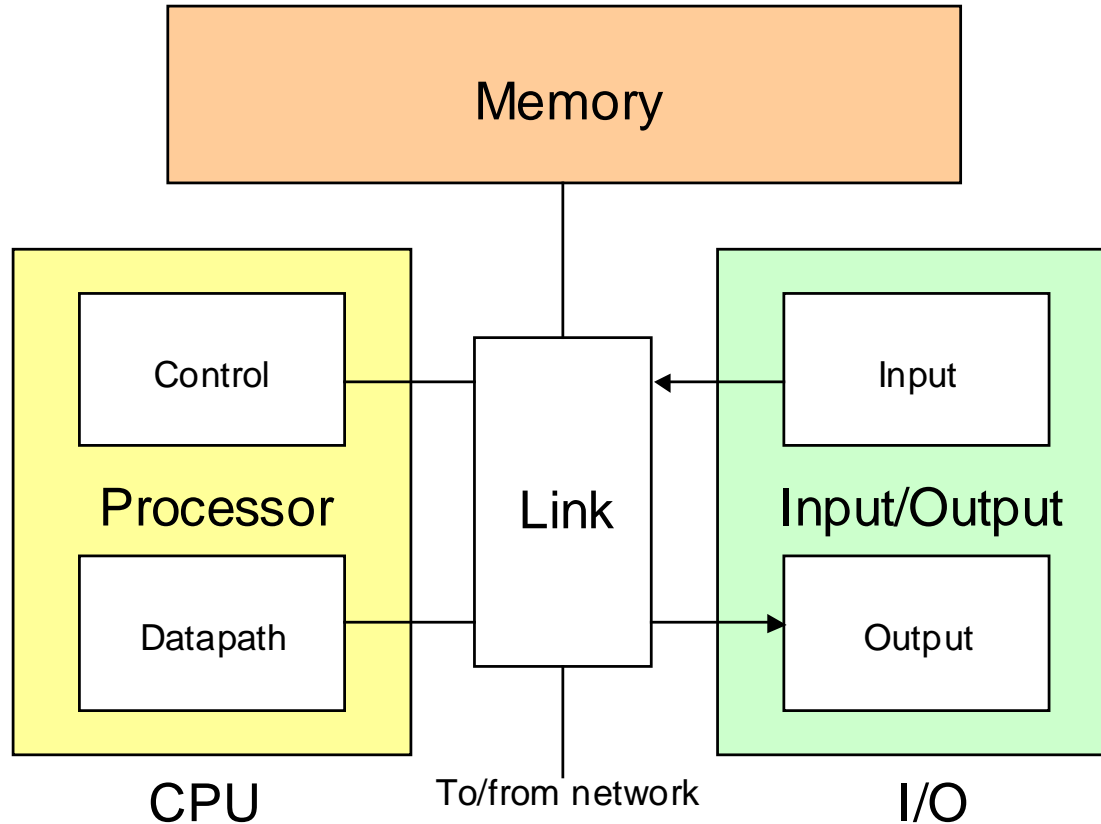


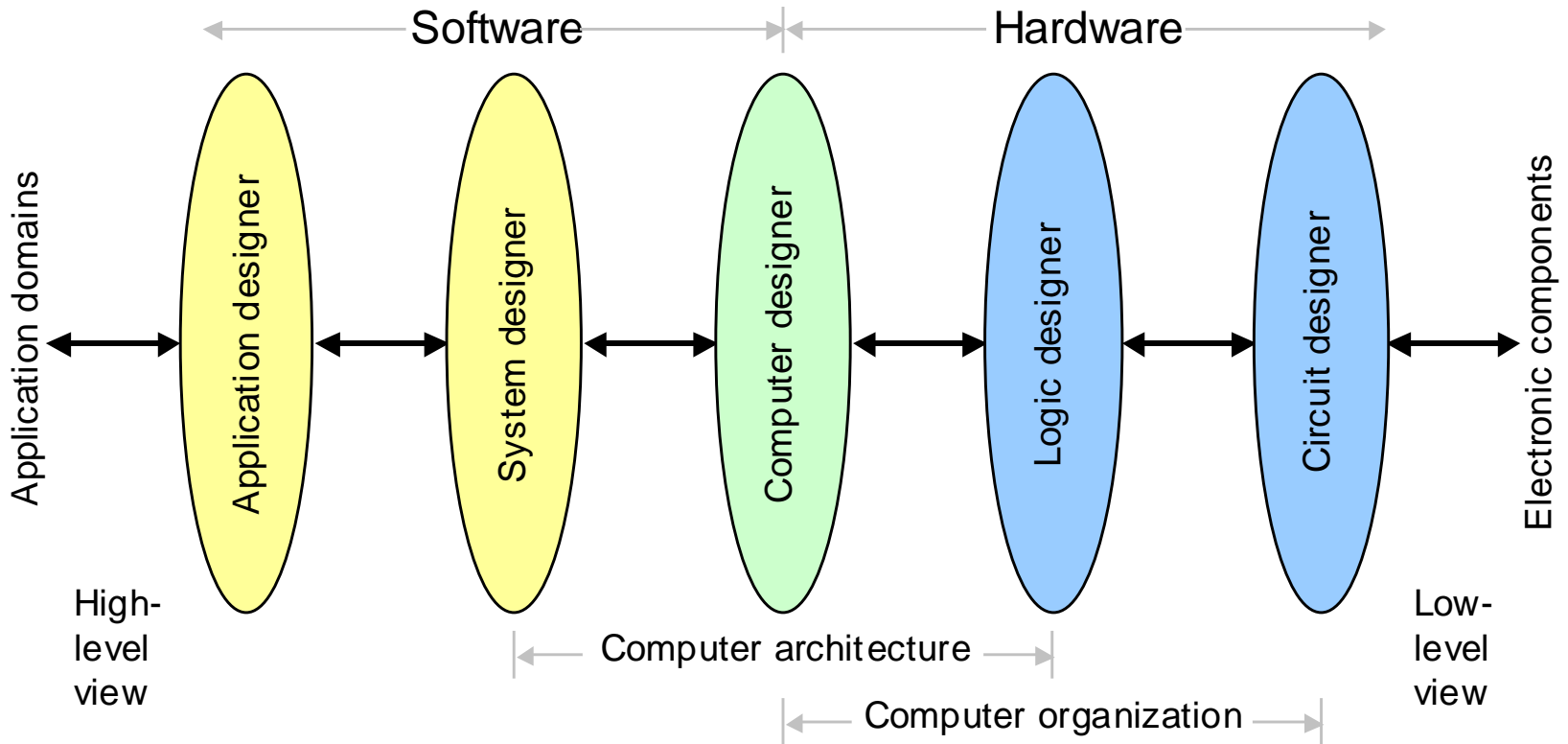
圖 1.1.1 電腦的分類

Digital Computer Subsystems



Usually, the link unit (a simple bus or a more elaborate network) is not explicitly included in such diagrams.

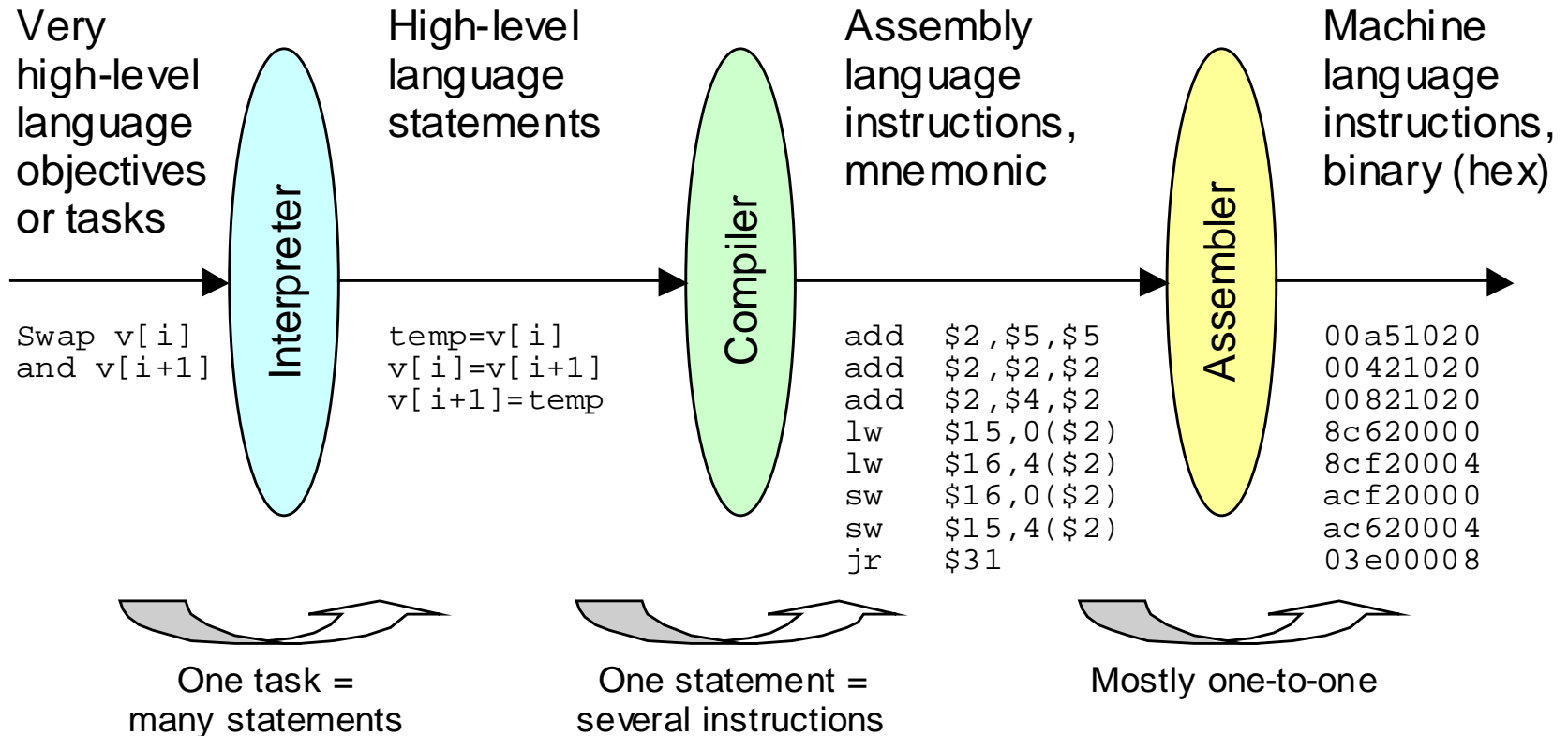
Design Level



High- vs Low-Level Programming

More abstract, machine-independent;
easier to write, read, debug, or maintain

More concrete, machine-specific, error-prone;
harder to write, read, debug, or maintain



Models and abstractions in programming.

什麼是嵌入式系統 1/2

- 雖然嵌入式系統是近幾年才快速的崛起流行，但是相關的概念早在1980年左右就已出現，嚴格來說嵌入式系統到現在已經有近40年的發展歷史。
- 嵌入式系統的出現最初是開始於單晶片微控器的發展，最早的單晶片微控器是Intel公司在1976年所推出的8048，同一時間Motorola與Zilog公司也各推出了68HC05與Z80等系列產品，之後在1980年代初，Intel又進一步的改善8048，成功推出了8051，這在單晶片微控器的歷史上絕對是值得紀念的一頁，因為到目前為止，8051系列可說是最成功的單晶片微控器，堪稱經典。



什麼是嵌入式系統 2/2

- 傳統的定義，「嵌入式系統是一個嵌入在機械或電子裝置中執行特定功能的控制器，通常需搭配週邊的硬體元件，而且具有即時（real-time）運算的限制」。
- 從實際應用的角度來說，國際電機電子工程師協會（IEEE）對嵌入式系統的定義更是簡短明確，「嵌入式系統是用於控制、監視或協助設備、機器、工廠運行的裝置」。
- 更好更全面的定義，「嵌入式系統是一個以應用為中心，整合軟硬體的專用電腦系統，一般有特定的用途及應用範圍，所以具有高度客製化的特性」。

嵌入式系統的應用 1/2

(1) 消費性電子產品

手機、平板、MP3、智慧手錶/環、數位相機、耳機、滑鼠、鍵盤、印表機、投影機、DVD/CD播放器、行動電源、喇叭、手寫/繪圖板、翻譯機/筆、電子相簿、遊戲機... 等。

(2) 智慧家電

冰箱、冷暖氣、電視、洗碗機、洗衣機、電風扇、空氣清淨機、烤箱、熱水器、飲水機、咖啡機、微波爐、電磁爐、吸塵器、掃地機器人... 等。

(3) 網路設備

無線網路基地台 (AP)、IP分享器、路由器、電力網路橋接器、交換器、數據機... 等。

嵌入式系統的應用 2/2

(4) 交通工具

行車記錄器、導航機、汽車防盜器、胎壓偵測器、汽車/機車的電子設備、各式飛行器的電子設備、各式船艦的電子設備。

(5) 醫療儀器

電子血壓計、心律調整器、超音波、MRI磁振造影機、內視鏡、斷層掃描儀... 等。

(6) 工業控制

機器人/手臂、智慧感應器、數控機床、倉儲管控系統、品管監控系統、生產線流程控制、資料收集系統、回饋系統... 等。

嵌入式系統的特色 1/3

- 嵌入式系統的特色可以從不同的面向討論，由於嵌入式系統在應用端的多樣性很高，差異性極大，所以底下所列的這些特色並不是要全部滿足才算是嵌入式系統，可能只具備其中的一二項或是部份特色，端看嵌入式產品的設計目標與其功能規格。

(1) 執行特定功能

嵌入式系統通常會重複或持續的執行某特定功能，這是與一般通用型多功能電腦系統最大的差異，例如MP3播放器的功能就是固定撥放音樂，不能拿來繪圖；而藍芽耳機只能傳輸聲音，無法照相。

(2) 具即時性 (real-time)

在這裡即時性並不是執行很快的意思，跟時間的絕對快慢無關，而是要在限定的時間內完成特定的工作。

嵌入式系統的特色 2/3

(3) 受限的資源

為了降低成本，嵌入式系統的軟硬體資源都會受到嚴格的限制，只要能滿足最低的需求即可，所以在有限的資源下，嵌入式系統的開發會有較嚴苛的條件限制。

(4) 高度客製化

為了符合特定的應用環境，以及與附屬機器的整合，嵌入式系統或裝置通常需要高度的客製化，所以通常具備輕量化、小尺寸的特性。

(5) 高穩定性與高可靠性

一般而言，嵌入式系統預設都是要長時間的運行，而且不需要使用者自行更新或是升級，所以高穩定性（stability）與高可靠性（reliability）一直是嵌入式系統最優先的設計目標。

嵌入式系統的特色 3/3

(6) 輕量化的運算核心

通常以微控制器 (microcontroller) 或微處理器 (microprocessor) 為運算核心，其等級可由如8051單晶片到先進的x86或是ARM的Cortex-M系列晶片不等。

(7) 必要的I/O裝置

嵌入式系統通常需要連接週邊的輸入輸出 (I/O) 裝置，才能達到與外界的互動。

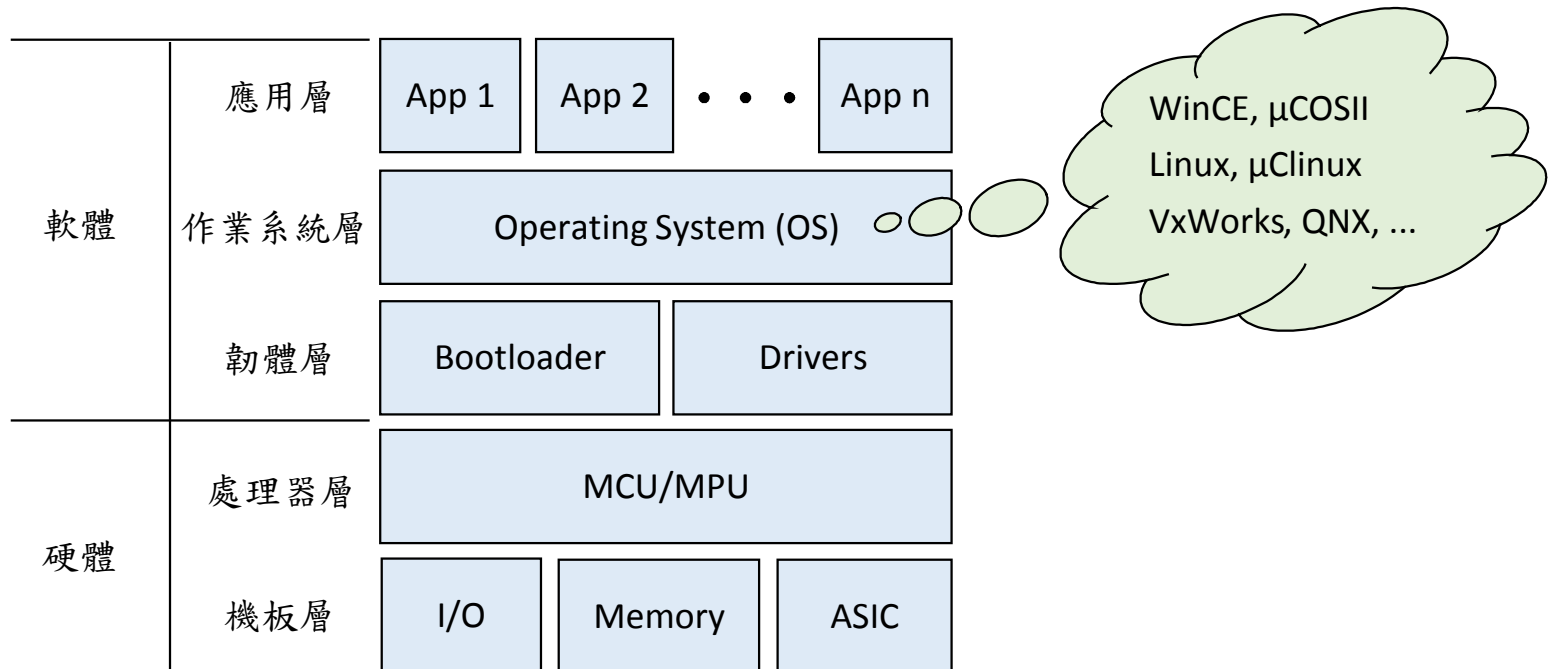
(8) 人機介面簡單

因為有固定的功能及用途，大部分的嵌入式系統通常不會強調人機互動的設計，導致使用者介面 (UI) 非常簡單陽春，甚至沒有。

(9) 功耗較低，價格便宜

產品數量龐大，所以價格便宜。

嵌入式系統的組成架構



Moore's Law

為何會發展如此神速呢？那都拜半導體技術成長之賜，被稱為半導體教父的 Gordon E. Moore 在 1965 年就以理論來預估半導體技術的成長，將以在每平方英吋上每年電晶體數成長一倍的速率成長，現在改為每 18 個月成長一倍，我們可來看他的預估曲線(圖 1-1)，並以 Intel 公司 CPU 的演進圖(圖 1-2)來比對，可說預估曲線到目前為止和實際的成長曲線是吻合的，但何時會撞牆失去準則呢？這是很有趣的事，眾說紛紜，你說呢？就此原故而創造了不少新明星，這些新明星可說拜技術和市場的適當結合而發。

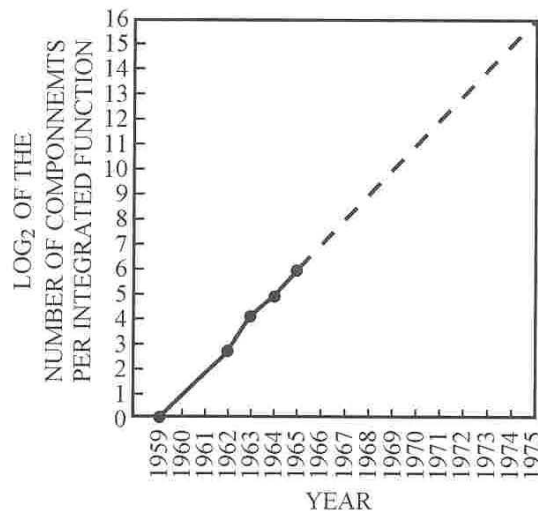


圖 1-1 Moore's Law

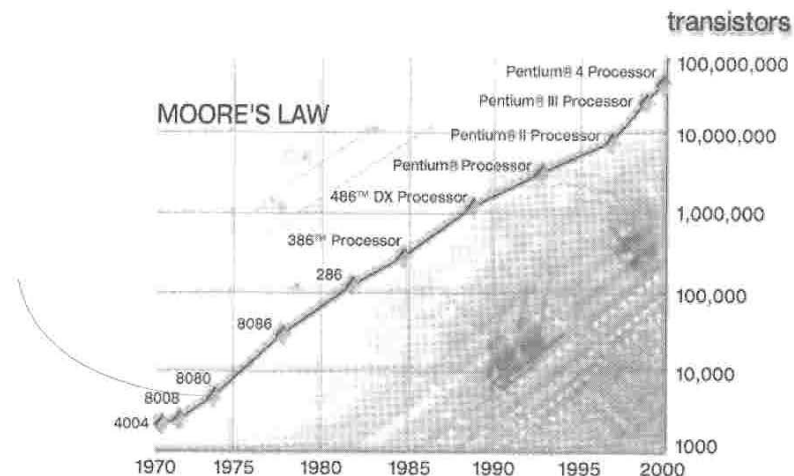


圖 1-2 Intel CPU 的 Moore's Law

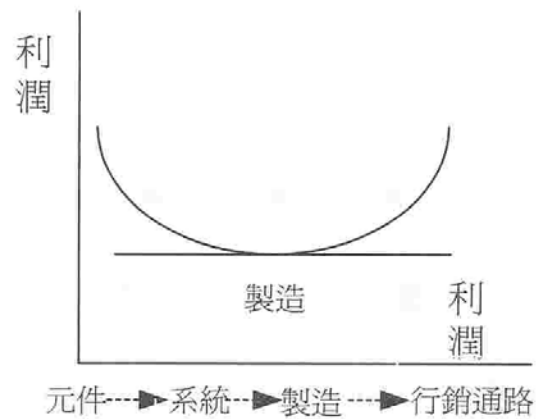


圖 1-4 微笑曲線

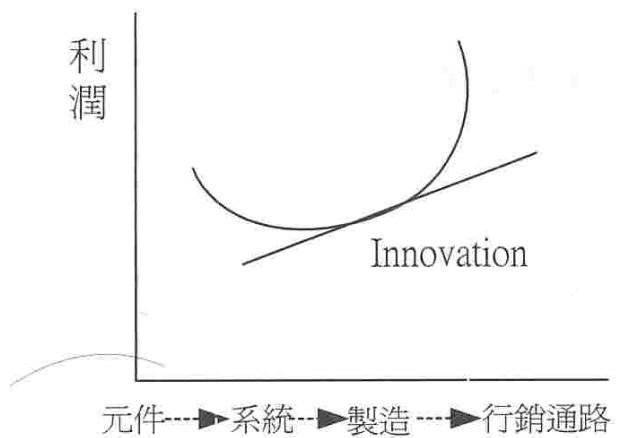


圖 1-5 微笑曲線左傾

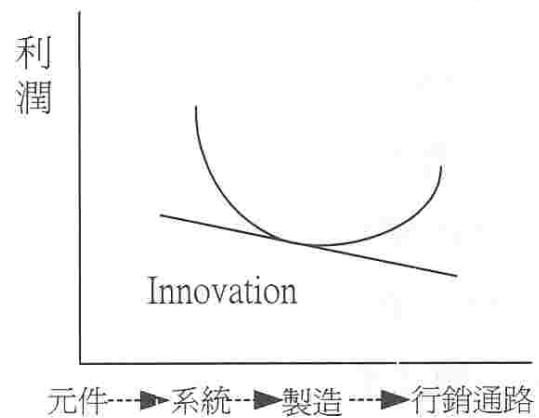


圖 1-6 微笑曲線右傾

Chapter 0

ABC's of ARM

The History of ARM (Advanced RISC Machine)

- ❑ ARM was established in November 1990 as Advanced RISC Machines Ltd., a UK-based joint venture between [Apple Computer](#), [Acorn Computer Group](#) and [VLSI Technology](#).
- ❑ Apple and VLSI both provided funding, while Acorn supplied the technology and ARM's 12 founding engineers.
- ❑ Acorn, developer of the world's first commercial single-chip RISC processor, and Apple, intent on advancing the use of RISC technology in its own systems, chartered ARM with creating a new microprocessor standard.
- ❑ ARM immediately differentiated itself in the market by creating the first low-cost RISC architecture. Conversely, competing architectures, which were more commonly focused on maximizing performance, were first used in high-end workstations.

ARM 的歷史

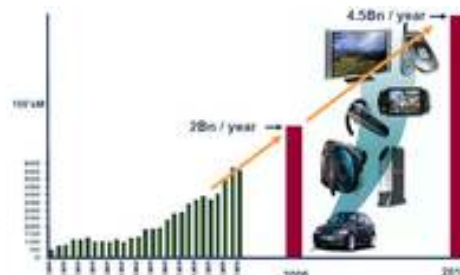
1978年12月5日，物理學家赫爾曼·豪澤（Hermann Hauser）和工程師Chris Curry，在英國劍橋創辦了CPU公司（Cambridge Processing Unit），主要業務是為當地市場供應電子設備。1979年，CPU公司改名為Acorn電腦公司。

起初，Acorn公司打算使用摩托羅拉公司的16位元晶片，但是發現這種晶片太慢也太貴。"一台售價500英鎊的機器，不可能使用價格100英鎊的CPU！"他們轉而向Intel公司索要80286晶片的設計資料，但是遭到拒絕，於是被迫自行研發。

1985年，Roger Wilson和Steve Furber設計了他們自己的第一代32位、6M Hz的處理器，Roger Wilson和Steve Furber用它做出了一台RISC指令集的電腦，簡稱ARM（Acorn RISC Machine）。這就是ARM這個名字的由來。

RISC的全稱是"精簡指令集電腦"（reduced instruction set computer），它支援的指令比較簡單，所以功耗小、價格便宜，特別合適移動設備。早期使用ARM晶片的典型設備，就是蘋果公司的牛頓PDA。20世紀80年代後期，ARM很快開發成Acorn的臺式機產品，形成英國的電腦教育基礎。

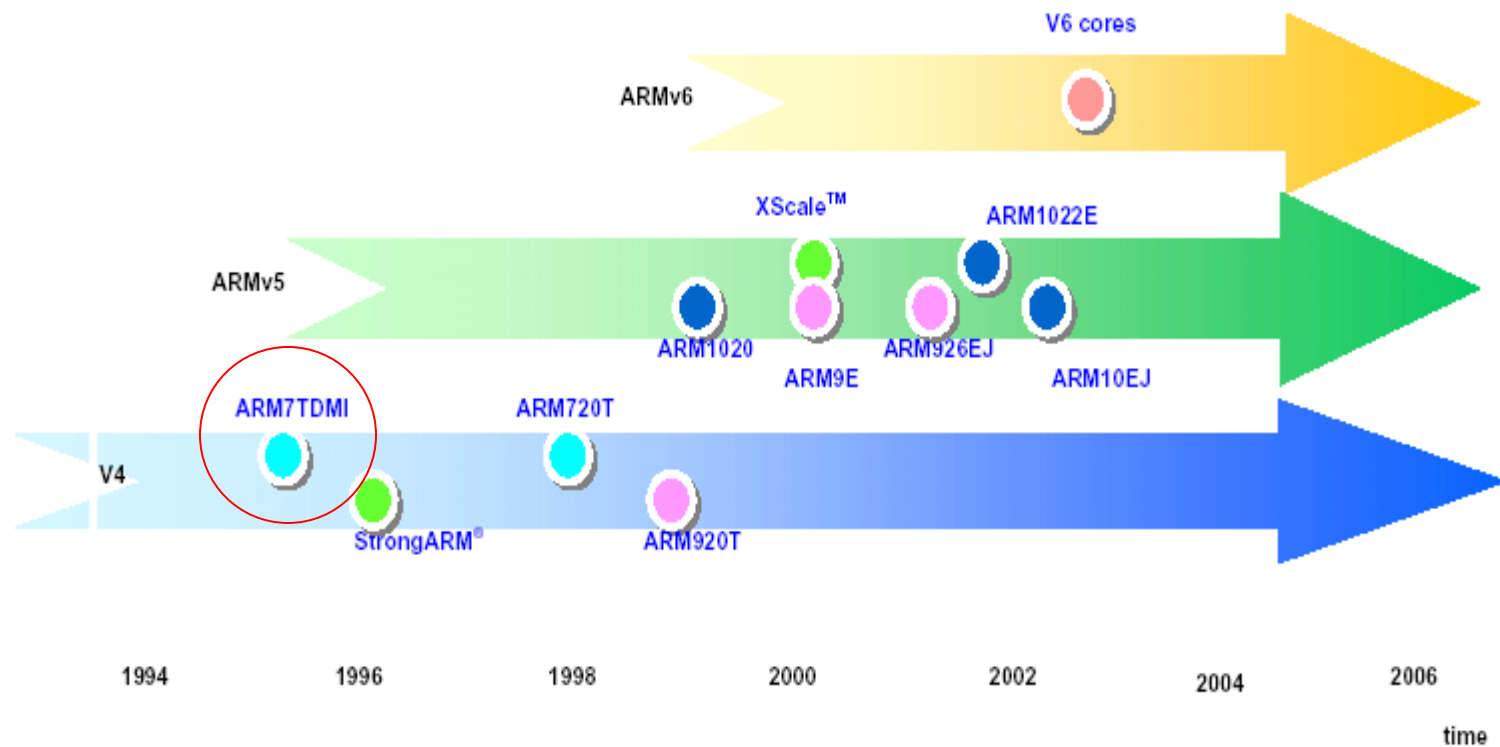
1990年11月27日，Acorn公司正式改組為ARM電腦公司。蘋果公司出資150萬英鎊，晶片廠商VLSI出資25萬英鎊，Acorn本身則以150萬英鎊的知識產權和12名工程師入股。公司的辦公地點非常簡陋，就是一個穀倉。20世紀90年代，ARM 32位嵌入式RISC(Reduced Instruction Set Computer)處理器擴展到世界範圍，佔據了低功耗、低成本和高性能的嵌入式系統應用領域的領先地位。ARM公司既不生產晶片也不銷售晶片，它只出售晶片技術授權。



ARM Milestones (complete version)

- ❑ 1985 Acorn Computer Group develops the world's first commercial RISC processor
- ❑ 1987 Acorn's ARM processor debuts as the first RISC processor for low-cost PCs
- ❑ 1990 Advanced RISC Machines (ARM) spins out of Acorn and Apple Computer's collaboration efforts with a charter to create a new microprocessor standard. VLSI Technology becomes an investor and the first licensee
- ❑ 1991 ARM introduces its first embeddable RISC core, the ARM6™ solution
- ❑ 1992 GEC Plessey and Sharp license ARM technology
- ❑ 1993 Cirrus Logic and Texas Instruments license ARM technology
Nippon Investment and Finance (NIF) becomes ARM's fourth investor
ARM introduces the ARM7™ core
- ❑ 1994 AKM (Asahi Kasei Microsystems) and Samsung license ARM technology
ARM opens offices in Los Gatos, California, USA ; and Tokyo, Japan
ARM introduces the ARM7500™ "system-chip" for multimedia applications
- ❑ 1995 Atmel/ES2, Digital, LG Semicon, NEC and Symbios Logic license ARM technology.
ARM's Thumb® architecture extension gives 32-bit RISC performance at 16-bit system cost and offers industry- leading code density
ARM opens office in Munich, Germany
ARM launches Software Development Toolkit
TI samples first ARM Thumb core
First StrongARM™ core from Digital Semiconductor and ARM
ARM extends family with ARM8™ high-performance solution
ARM launches the ARM7100™ "PDA-on-a-chip"

ARM Architecture Revisions



ARM Processor Family

架構	處理器家族
ARMv1	ARM1
ARMv2	ARM2、ARM3
ARMv3	ARM6, ARM7
ARMv4	StrongARM、ARM7TDMI、ARM9TDMI
ARMv5	ARM7EJ、ARM9E、ARM10E、XScale
ARMv6	ARM11、ARM Cortex-M
ARMv7	ARM Cortex-A、ARM Cortex-M、ARM Cortex-R
ARMv8	Cortex-A50 ^[9] (功耗效率最高的64位元處理器)

ARM處理器列表(Feb. 2013)

家族	架構	內核	特色	快取 (I/D)/MMU	常規 MIPS 於 MHz	應用
ARM1	ARMv1	ARM1		無		
ARM2	ARMv2	ARM2	Architecture 2 加入了 MUL (乘 法) 指令	無	4 MIPS @ 8MHz	Acorn Archimedes , Chessmachine
	ARMv2a	ARM250	Integrated MEMC (MMU), 圖 像與IO處理 器。 Architecture 2a 加入了 SWP和 SWPB (置 換) 指令。	無, MEMC1a	7 MIPS @ 12MHz	Acorn Archimedes
ARM3	ARMv2a	ARM2a	首次在ARM 架構上使用處 理器快取	均為4K	12 MIPS @ 25MHz	Acorn Archimedes
ARM6	ARMv3	ARM610	v3 架構首創 支援定址32位 元的記憶體 (針對26位 元)	均為4K	28 MIPS @ 33MHz	Acorn Risc PC 600 , Apple Newton
ARM7	ARMv3					
ARM7TDMI	ARMv4T	ARM7TDMI(-S)	三級流水線	無	15 MIPS @ 16.8 MHz	Game Boy Advance , Nintendo DS , iPod
		ARM710T		均為8KB, MMU	36 MIPS @ 40 MHz	Acorn Risc PC 700 , Psion 5 series , Apple eMate 300
		ARM720T		均為8KB, MMU	60 MIPS @ 59.8 MHz	Zipit
		ARM740T		MPU		
	ARMv5TEJ	ARM7EJ-S	Jazelle DBX	無		

StrongARM	ARMv4					
ARM8	ARMv4					
ARM9TDMI	ARMv4T	ARM9TDMI	五級流水線	無		
		ARM920T		16KB/16KB, MMU	200 MIPS @ 180 MHz	Armadillo, GP32, GP2X (第一顆內核), Tapwave Zodiac (Motorola i.MX1)
		ARM922T		8KB/8KB, MMU		
		ARM940T		4KB/4KB, MPU		GP2X (第二顆內核)
ARM9E	ARMv5TE	ARM946E-S		可變動, tightly coupled memories, MPU		Nintendo DS, Nokia N-Gage Conxant 802.11 chips
		ARM966E-S		無快取, TCMs		ST Micro STR91xF, 包含Ethernet [1] (http://mcu.st.com/mcu/modules.php?name=mcu&file=device docs&DEV=STR912FW44&FAM=101)
		ARM968E-S		無快取, TCMs		
	ARMv5TEJ	ARM926EJ-S	Jazelle DBX	可變動, TCMs, MMU	220 MIPS @ 200 MHz	行動電話: Sony Ericsson (K, W系列), 明基西門子 (x65 系列和新版的)
	ARMv5TE	ARM996HS	無振盪器處理器	無快取, TCMs, MPU		
ARM10E	ARMv5TE	ARM1020E	(VFP), 六級流水線	32KB/32KB, MMU		
		ARM1022E	(VFP)	16KB/16KB, MMU		
	ARMv5TEJ	ARM1026EJ-S	Jazelle DBX	可變動, MMU or MPU		

XScale	ARMv5TE	80200/IOP310/IOP315	I/O處理器			
		80219			400/600MHz	Thecus N2100
		IOP321			600 BogoMips @ 600 MHz	Iyonix
		IOP33x				
		IOP34x	1-2核，RAID 加速器	32K/32K L1, 512K L2, MMU		
		PXA210/PXA250	應用處理器， 七級流水線			Zaurus SL-5600
		PXA255		32KB/32KB, MMU	400 BogoMips @ 400 MHz	Gumstix，Palm Tungsten E2
		PXA26x			可達 400 MHz	Tungsten T3
		PXA27x			800 MIPS @ 624 MHz	HTC Universal、Zaurus SL-C1000、3000、3100、3200、Dell Axim x30、x50和 x51 系列
		PXA800(E)F				
		Monahans			1000 MIPS @ 1.25 GHz	Maveil PXA300/PXA310/PXA320, Max frequency : PXA300@624Mhz, PXA310/PXA320@806Mhz
		PXA900				Blackberry 8700, Blackberry Pearl (8100)
		IXC1100	Control Plane Processor			
		IXP2400/IXP2800				
		IXP2850				
		IXP2325/IXP2350				
		IXP42x				NSLU2
		IXP460/IXP465				

ARM11	ARMv6	ARM1136J(F)-S	SIMD, Jazelle DBX, (VFP), 八級流水線	可變動, MMU	?? @ 532-665MHz (i.MX31 SoC)	Nokia N93, Zune, Nokia N800
	ARMv6T2	ARM1156T2(F)-S	SIMD, Thumb-2, (VFP), 九級流水線	可變動, MPU		
	ARMv6KZ	ARM1176JZ(F)-S	SIMD, Jazelle DBX, (VFP)	可變動, MMU+TrustZone		
	ARMv6K	ARM11 MPCore	1-4核對稱多處理器, SIMD, Jazelle DBX, (VFP)	可變動, MMU		
Cortex	ARMv7-A	Cortex-A8	Application profile, VFP, NEON, Jazelle RCT, Thumb-2, 13-stage pipeline	可變動 (L1+L2), MMU+TrustZone	up to 2000 (2.0 DMIPS/MHz 從600 MHz 到超過1 GHz的速度)	Texas Instruments OMAP3, Apple A4
		Cortex-A9				Apple A5, Apple A5X
		Cortex-A9 MPCore				
	ARMv7-R	Cortex-R4(F)	Embedded profile, (FPU)	可變動快取, MMU可選配	600 DMIPS	Broadcom is a user
	ARMv7-M	Cortex-M3	Microcontroller profile	無快取, (MPU)	120 DMIPS @ 100MHz	Luminary Micro[2] (http://www.luminarymicro.com) 微控制器家族
	ARMv6-M	Cortex-M0				
		Cortex-M1				
	ARMv7-ME	Cortex-M4		Optional 8 region MPU with sub regions and background region	1.25 DMIPS/MHz	
家族	架構	內核	特色	快取 (I/D)/MMU	常規 MIPS 於 MHz	應用

ARM 的授權應用 (1)

檢·論·編

ARM晶片

[隱藏]

ARM架構·ARM處理器內核列表

應用處理器

Cortex-A5	炬力 ATM7025/7029 · 高通 Snapdragon 200 · InfoTMIC iMAPx820/iMAPx15 · Telechips TCC892x
Cortex-A7	全志 A20/A31s/A31 · 海思 K3V3 · Leadcore LC1813 · 聯發科 MT6572/6589/6589T/6589M/8125/6599 · 高通 Snapdragon 400 · 三星 Exynos 5410
Cortex-A8	全志 A10/A13/A10s · 蘋果 A4 · 飛思卡爾 i.MX5x · 瑞芯微電子 RK290x/RK291x · 三星 Exynos 3110/S5PC110/S5PV210 · 德州儀器 OMAP 3 · ZiiLABS ZMS-08
Cortex-A9	晶晨半導體 AML8726 · 蘋果 A5/A5X · 飛思卡爾 i.MX6x · 海思 K3V2/K3V2T/K3V2E · 聯發科 MT6575/6577 · Nvidia Tegra 2/3/4i · Nufont NuSmart 2816M/NS115/NS115M · 瑞薩 EMMA EV2 · 瑞芯微電子 RK292x/RK30xx/RK31xx · 三星 Exynos 4 · 意法愛立信 NovaThor · Telechips TCC8803 · 德州儀器 OMAP 4 · VIA 威信科電 WM88x0/89x0 · ZiiLABS ZMS-20, ZMS-40
Cortex-A15	海思 K3V3 · 聯發科 MT6599 · Nvidia Tegra 4 · 三星 Exynos 5 · 德州儀器 OMAP 5
ARMv7-A compatible	蘋果 A6/A6X (Swift) · 高通 Snapdragon S1/S2/S3 (Scorpion) · 高通 Snapdragon S4 Plus/S4 Pro (Krait) · 高通 Snapdragon 600/800 (Krait 300/Krait 400)
ARMv8-A compatible	蘋果 A7 (Cyclone)

實時微控制器

Cortex-R4F	德州儀器RM4, TMS570
Cortex-R5F	Scaleo OLEA

ARM 的授權應用 (2)

微控制器	Cortex-M0	Energy Micro EFM32 Zero · NXP LPC1100, LPC1200 · STMicroelectronics STM32 F0
	Cortex-M0+	Freescale Kinetis L · NXP LPC800
	Cortex-M1	Actel FPGAs · Altera FPGAs · Xilinx FPGAs
	Cortex-M3	Actel SmartFusion, SmartFusion 2 · Atmel AT91SAM3 · Cypress PSoC 5 · Energy Micro EFM32 Tiny, Gecko, Leopard, Giant · Fujitsu FM3 · NXP LPC1300, LPC1700, LPC1800 · Silicon Labs Precision32 · STMicroelectronics STM32 F1, F2, L1, W · Texas Instruments F28, LM3, TMS470, OMAP 4 · Toshiba TX03
	Cortex-M4	Atmel AT91SAM4 · Freescale Kinetis K · Texas Instruments OMAP 5
	Cortex-M4F	Energy Micro EFM32 Wonder · Freescale Kinetis K · Infineon XMC4000 · NXP LPC4000, LPC4300 · STMicroelectronics STM32 F3, F4 · Texas Instruments LM4F
Classic Processors	ARM7	Atmel AT91SAM7, AT91CAP7 , AT91M, AT91R · NXP LPC2100, LPC2200, LPC2300, LPC2400 , LH7 · STMicroelectronics STR7
	ARMv4 compatible	Digital Equipment Corporation (StrongARM)
	ARM9	Atmel AT91SAM9, AT91CAP9 · Freescale i.MX1x, i.MX2x · Rockchip RK27xx/RK28xx · NXP LPC2900, LPC3100, LPC3200 , LH7A · ST-Ericsson Nomadik STn881x · STMicroelectronics STR9 · Texas Instruments OMAP 1 , AM1x · VIA WonderMedia WM8505/8650 · ZiiLABS ZMS-05
	ARMv5-compatible	Digital Equipment Corporation (XScale) · Marvell (Sheeva · Feroceon · Jolteon · Mohawk)
	ARM11	Freescale i.MX3x · Infotnmc IMAPX210/220 · Nvidia Tegra APX, 6xx · Qualcomm MSM7000, Snapdragon S1 · ST-Ericsson Nomadik STn882x · Telechips TCC8902 · TI OMAP 2 · VIA WonderMedia WM87x0
	ARMv6 compatible	Mindspeed Comcerto 1000

ARM 的市場前景

微軟公司（2011年）宣佈，下一版Windows將正式支援ARM處理器。這是計算機工業發展歷史上的一件大事，標識著x86處理器的主導地位發生動搖。目前在移動設備市場，ARM處理器的市場份額超過90%；在伺服器市場，今年（2011年）就會有2.5GHz的伺服器上市；在桌面電腦市場，現在又有了微軟的支持。ARM成為主流，恐怕指日可待。難怪有人驚呼，Intel公司將被擊敗！

與這場轟轟烈烈的變革相比，它的主角ARM公司卻沒有受到太多的關注，顯得不太起眼。這家遠離矽谷、位於劍橋大學的英國公司，到底是怎麼走到今天的，居然能將晶片巨人Intel拉下馬？

展望未來，即使Intel成功地實施了Atom戰略，將x86晶片的功耗和價格大大降低，它與ARM競爭也將非常吃力。因為ARM的商業模式是開放的，任何廠商都可以購買授權，所以未來並不是Intel vs. ARM，而是Intel vs. 世界上所有其他半導體公司。那樣的話，Intel的勝算能有多少呢？



RISC vs. CISC

- ❑ In 1980 Patterson and Ditzel published a paper entitled '*The Case for the Reduced Instruction Set Computer*', in which they expounded the view that the optimal architecture for a single-chip need not be the same as the optimal architecture for a multi-chip processor.
- ❑ Their argument was subsequently supported by the results of a processor design project undertaken by a postgraduate class at Berkeley which incorporated a Reduced Instruction Set Computer (RISC) architecture. This design Berkeley RISC I, was much simpler than the commercial CISC processors of the day and had taken an order of magnitude less design effort to develop, but delivered a very similar performance.

RISC Architecture

- ❑ A fixed (32-bit) instruction size with few formats; CISC processors typically had variable length instruction sets with many formats.
- ❑ A load-store architecture where instr. that process data operate only on registers and are separate from instr. that access memory; ...
- ❑ A large register bank, all of which could be used for any purpose, to allow the load-store architecture to operate efficiently; ...

RISC Organization

- ❑ Hard-wired instruction decode logic; CISC processors used large microcode ROMs to decode instr.
- ❑ Pipelined execution; CISC processors allowed little, if any, overlap between consecutive instr.
- ❑ Single-cycle execution; CISC processors typically took many clock cycles to complete a single instr.

❑ RISC advantages

- A smaller die size
- A shorter development time
- A higher performance

❑ RISC drawbacks

- RISCs generally have poor code density compared with CISCs.
- RISCs don't execute x86 code.