

淺談嵌入式處理器

張耀中 曹世強 林盈達

國立交通大學資訊科學系

300 新竹市大學路1001號

Tel: 03-5712121 ext. 56667

E-MAIL : {ycchang,weafon,ydlin}@cis.nctu.edu.tw

摘要

嵌入式處理器 (embedded processor) 是針對特定應用訂作的處理器。在嵌入式系統 (embedded system) 中，扮演著運算和資源管理的重要角色。但是嵌入式系統的資源通常非常有限，因此處理器的設計成為是否能運用最低的成本，達到最高的效能的關鍵。其設計考量集中在耗電量、程式碼密度 (code density)、周邊整合度 (peripheral integration) 以及硬體加速 (hardware acceleration) 四個方面。近年來，嵌入式處理器已經慢慢的融入我們日常生活應用裡，其中網路設備是最普遍的例子。然而設備廠商應該如何在眾多的處理器中作抉擇呢？文末我們以 Intel、Broadcom、Samsung 這三家廠商所開發的產品及發展平台為例，分別就規格、應用、LAN/WAN 支援能力及發展平台所支援的作業系統做比較，作為設備廠商在選擇嵌入式處理器時的參考指標。從比較的結果中，我們可以看出周邊整合度和硬體加速決定了嵌入式處理器在網路應用上支援的程度，而Broadcom的處理器對於LAN/WAN的連結能力較為優異，至於發展平台方面，Wind River公司的VxWorks作業系統對於這三家廠商都有相當程度的支援。

關鍵字：嵌入式系統、嵌入式處理器、耗電量、程式碼密度、周邊整合度、硬體加速

1 簡介

隨著資訊時代的來臨，嵌入式系統在各種應用的大力帶動下，可說是當紅炸子雞。其中嵌入式處理器扮演著運算和資源管理的重要角色，舉凡無線手持裝置如 PDA、智慧型手機，資料儲存裝置如儲存裝置：RAID、SAN、SCSI，甚至於到路由器、無線網路基地台等網路設備都有一顆或是數顆嵌入式處理器在負責特殊的任務。近年來，Motorola 這家公司的 68000 架構在嵌入式處理器的市場大放

異彩，促使其他處理器的龍頭，像是 Intel、ARM、MIPS¹紛紛加入嵌入式處理器戰局的行列，這正也凸顯了這塊市場的重要性。

什麼是嵌入式處理器呢？它是一種特殊用途 (special purpose) 的處理器，換言之，是針對特定應用所量身訂作的處理器。相較於其他 (general purpose) 多用途處理器而言，設計上除了有效能的考量外，最重要的是如何以最低的成本來達到最高的效能，其中包括電源的消耗、製造的成本等等因素。舉例來說，目前我們所使用的行動電話，在早期，通常由一顆簡單、耗電量低的嵌入式處理器，同時處理人機介面 (Man Machine Interface) 的運算及無線訊號的處理。然而，隨著 3G 行動通訊時代的來臨，手機除了要有基本的通訊功能外，還得滿足在多媒體應用的大量運算需求，因此目前手機中，通常使用兩顆運算能力更高的嵌入式處理器，來個別滿足這兩樣需求。然而數量增加，運算能力提升後，勢必對整體資源（記憶體、耗電量、成本等等）帶來更大的負面衝擊。因此，凸顯了其設計的重要。

在瞭解嵌入式處理器的定義之後，那究竟嵌入式處理器和多用途處理器到底有什麼不同呢？表 1 列舉嵌入式處理器和多用途處理器在資源和功能上的差異。

	嵌入式處理器	多用途處理器
Purpose	Specific	General
Computing Power	High	Very High
Cost	Low (~20USD)	High (~100USD)
Power Consumption	Low	High
RAM/ROM	Built-in	Off-chip
Peripheral	Built-in (interrupt controller、timer、NIC and etc.)	Off-chip

表 1. 嵌入式處理器和多用途處理器的差異

在下一節中，我們將深入介紹嵌入式處理器設計的四個重要考量，這包括耗電量，程式碼密度，周邊整合度，硬體加速。第三節，則介紹嵌入式處理器的目前應用實例。最後是我們的結論。

2 嵌入式處理器設計的考量

儘管各家廠商對於不同的應用紛紛推出標榜各種特異功能的嵌入式處理器，但是在設計上，有四個非得考量到的關鍵。同時，他們必須在這些考量中尋

¹ ARM、MIPS 主要授權他們的嵌入式處理器核心 (core) 給其他半導體廠商作為系統整合的一部份。

找平衡點，而不是針對單一方面做改進，如此才能在效能與成本之間做平衡。以下我們就這些設計考量，做個別說明。

■ 耗電量 (power consumption)

就行動電話而言，我們一定無法接受一個裝著散熱風扇並且待機時間短的龐然大物，因此耗電量對於手持式的嵌入式系統具有相當大的殺傷力，倘若其耗電量大，使用的時間自然就會縮短，並產生大量熱量。我們常用 MIPS(Million Instructions Per Second)/watt 來評估嵌入式處理器的效能與耗電量關係。不過近年來，Dhystone [1]取而代之成為新的評估標準。為降低耗電量通常有兩個方法：一、設計低電壓的處理器核心。二、設計不同的運作模式，使得處理器在待機狀態下使用較少的電量。

■ 程式碼密度 (code density)

所謂程式碼密度，意指完成一件工作所需要的程式碼大小。嵌入式系統通常為一個有限記憶體裝置，其中處理器的指令集架構 (instruction set architecture) 決定了程式碼佔用有限記憶體空間的大小。因此指令集架構對於記憶體的使用有相當大的影響性。一般來說，其架構分為複雜指令集架構(CISC, Complex Instruction Set Computer)和精簡指令集架構 (RISC, Reduced Instruction Set Computer)，前者具有較高的程式碼密度，但是由於設計上較為複雜，所以使用的矽晶體個數較多，大幅提高製作成本。相反的，後者設計上較為簡單，但需要花較多的指令來完成一件工作，換句話說，它的程式碼密度較低。乍看之下，精簡指令集架構的嵌入式處理器似乎不利於應用在有限記憶體的嵌入式系統裡。對於這個問題，有些廠商使用兩組不同長度的指令集來解決[2]，我們引用[3]的資料（如表 3 所示）比較 ARM、Thumb²兩種不同模式的指令集對相同 C 程式碼程式碼密度的影響。從結果我們可以看出，在不影響原本的效能下，Thumb 指令集使得原本的程式碼密度大幅提升 30%。

² ARM 指令集架構中有 T 字尾的版本編號即代表有支援 Thumb 指令集，例如：ARMV4T。

	ARM	Thumb
單一指令長度	32 bit	16 bit
程式碼大小	K	K*70%
程式碼密度	Low	High
使用的指令個數	N	N*140%
效能 (16 bit memory mode)	P	P*145% (faster)

表 3: ARM、Thumb 兩種指令集模式對相同 C 程式碼的比較

■ 周邊整合度 (peripheral integration)

一個終端產品通常會包含嵌入式處理器和運算周邊，然而前者如果只是單純的處理器核心，一來對上市時間 (time to market) 有相當大的衝擊，二來，CPU 和外部周邊間匯流排線路 (bus wiring) 的電源消耗對於系統整體的耗電量較難以掌握。因此，通常會整合一些矽智財 (IP, Intellectual Property)，舉如中斷控制器、計時器 (timer)、萬用非同步傳送與接收器 (UART)、乙太網路控制器等等週邊 (如圖 1 中標示虛線的部分) 來加快設備廠商產品上市的時間。那或許有人會問：是否周邊整合度越高越好呢？越高並不代表越好，雖然可以達到較多的應用，但是相對的所需要的成本也就越高，所以在設計嵌入式處理器時應該考慮目標市場的需求和成本來決定整合哪些周邊。

■ 硬體加速 (peripheral integration)

嵌入式處理器的核心通常設計得較為通用型 (general)，也就是說所能執行的運算較有彈性，舉例而言，處理器核心通常包含基本的運算、邏輯比較、跳躍與分歧指令，然而，當需要處理大量並且耗時的運算時，例如 MPEG4 解壓縮，這些通用型的指令集就無法針對特殊的工作做最佳化，使得處理器必須耗費許多的運算週期在上面，因而產生無法處理其他的工作，反應時間及耗電量增加等種種問題。整合硬體加速元件和使用協同處理器 (coprocessor) 是解決這個問題的方法。將一些特殊的運算交給，具有硬體加速功能的這些硬體單元，達到加速整體效能的目的。圖 1 標示實線的部分是一個 DES/3DES 硬體加速單元，當程式需要使用到加密或是解密的功能時，可以藉由這個硬體單元來減少加密與解密所需要花費的時間。

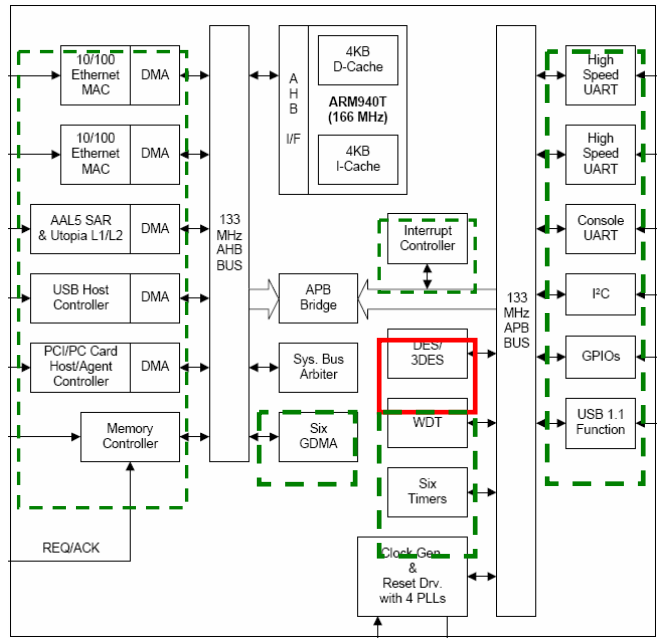


圖 1: 具有加密與解密硬體單元的 S3C2510 嵌入式處理器[4]

3 應用實例

網路設備是嵌入式處理器普遍的應用，這個市場中有哪些主要的廠商參與？各主打哪些產品？它們整合了些什麼？主要的應用是什麼？對 LAN/WAN 的支援能力如何？發展平台所支援的軟體環境是什麼？這些都是我們想知道的問題。針對這些問題我們以三個主要廠商的產品為例，整理出下列的表格來作為設備廠商在選擇嵌入式處理器時的參考指標。

從表 4 的比較中我們可以看出三家廠商主打的產品在應用上都差不多，其中 Intel 對於 VPN 以及 VoIP 有比較多的支援。而從表 5 可以比較出，處理器內部硬體的規格。三者除了包含基本的周邊外，Intel 和 Samsung 的產品都針對加密、解密內建硬體加速的單元。

Vendor	Processor	Applications
INTEL	IXP425	SOHO & Enterprise & SME router, switch, wireless access point, xDSL, VPN, VoIP, web services
BROADCOM	BCM1125H	Routers, switches, line cards, broadband access, wireless base station
SAMSUNG	S3C2510	SOHO router, internet gateway, WLAN AP, xDSL

表 4: Embedded Processors Vendors

Processor	Frequency	Highlights
IXP425	266/400/533MHz	Hardware acceleration of cryptography algorithms(SHA-1, MD5, DES), two HSS (two high-speed serial), two 10/100 base-T Ethernet MACs, UTOPIA 2 interface
BCM1125H	600MHz – 1 GHz	Two 10/100/1000 Base-T Ethernet MACs, two serial ports are provided for WAN connections at up to T3/E3/OC-1 data rates , Hyper Transport(LDT) I/O interface
S3C2510	166MHz	Two 10/100 Base-T Ethernet MACs, DES/3DES accelerator , AAL5 SAR and UTOPIA L1/L2

表 5. Hardware Comparison – Internal Hardware Spec.

processor	ISA	Coprocessors /ASIC	LAN capacity	WAN capacity	Price
IXP 425	ARMV5TE	YES - encryption and authentication	Two 10/100 Ethernet Base-T	xDSL, T1/E1, VoIP SLIC/CODEC	\$16/17/23 USD
BCM112H	MIPS64	NO	Two 10/100/1000 Ethernet Base-T	T3/E3/OC-1	N/A
S3C2510	ARMV4T	YES - encryption and authentication	Two 10/100 Ethernet Base-T	xDSL	< \$6 USD

表 6. LAN/WAN Capacity Comparison

Product	Highlights	OS	Development tools
IXDP 425	1.Intel® IXP425 network processors at 533MHz 2.Two Intel® LXT972A PHY expansion cards	Wind River VxWorks, Monta Vista Linux , NetBSD	GNU tool chain and cross compilation
BCM91250E	1.BCM1125H network processor 2.Two Gigabit Ethernet ports on an I/O bracket	Wind River VxWorks 64 bit, Monta Vista Linux 64 bit, NetBSD 32bit, QNX	GNU toolchain and cross compilation, Corelis and Greenhills Software debug tools with EJTAG
SMDK2501	1.S3C2510 communication processor 2.Two 10/100 Ethernet ports	Wind River VxWorks, uCLinux	GNU tool chain and cross compilation

表 7. Development Platform and Software Support

表 6 比較 LAN/WAN 的支援能力。在 LAN 方面，Broadcom 的產品能連結 Giga bits 的乙太網路，同時在 WAN 方面也能連結較為高階的網路。雖然，Intel 的產品稍為遜色，但是增加了對 VoIP 線路的連結。而表 7 比較發展平台以及軟體支援的程度。三者提供的發展平台內容物都差不多，支援的發展工具也大同小異，其中 VxWorks 作業系統對於這三種平台都有支援。

4 結論

綜觀以上的幾個比較，可得知系統整合已成為嵌入式處理器設計上的趨勢，不管是整合運算周邊、硬體加速元件，或是協同處理器，這些方式對於系統整體

的效能都有相當程度的提升，除此之外，各家廠商所提供的發展平台也都有一定程度的軟體支援，例如 VxWorks，因此加快了設備廠商上市 (time to market) 的時間。無論如何，這樣的比較並不完全代表誰勝誰負，有些嵌入式處理器的周邊整合度高，例如 Intel 的 IXP，相對的要付出的成本也跟著提升；有些的處理能力較優異，例如 Broadcom 的 BCM1125H，但在較小的應用上就顯得有點殺雞用牛刀。因此設備廠商應該根據產品的定位在各方面做最佳的考量，才能以最低的成本來達到最高的效益。

5 參考資料

- [1] Manfred Schlett, “*Trends in Embedded Microprocessor Design*,” IEEE Computer, August 1998, pp. 44-49.
- [2] Seal, “*ARM Architecture Reference Manual*,” Addison Wesley, 2000.
- [3] <http://hpc.ee.ntu.edu.tw/~murphy/note/linux/ThumbCodeVSARMCode.html> - Thumb mode 與 ARM mode 的比較.
- [4] http://www.samsung.com/Products/Semiconductor/SystemLSI/Networks/PersonalNTASSP/CommunicationProcessor/S3C2510/ds_S3C2510A_rev10.pdf – Samsung S3C2510 User’s Manual.