

嵌入式作業系統

曹樂淇 曹世強 林盈達

國立交通大學資訊科學系

新竹市大學路 1001 號

TEL : (03)5712121 EXT. 56667

E-MAIL : {is84032, weafon, ydlin}@cis.nctu.edu.tw

摘要

放眼現今的市場，嵌入式系統廣泛地被應用在網路設備及一般消費電子產品上。Switch、router 等屬於前者的範疇；而後者則包含了手機、PDA、DVD player、數位相機等在我們生活中常見到的產品。對嵌入式系統而言，一對專為嵌入式系統所設計的處理器與作業系統（分別稱之為嵌入式處理器與嵌入式作業系統）加上儲存在 flash 裡的韌體程式，為其所構成的標準元素。當網路設備廠商在發展其嵌入式系統產品時，如何挑選適用的嵌入式作業系統是一個需要仔細考量的因素。這對產品穩定度，研發過程的難易，與未來的擴展性都有不小的影響。文中，我們將介紹四套常用於網路設備廠商的嵌入式系統：VxWorks, pSOS, Nucleus, 及 QNX。並分別從硬體的支援、軟體上的解決方案，以及收費模式等來逐一比較。根據我們的觀察，VxWorks 雖然知名度高口碑好，但顯然因為在售價上偏高，而使其在國內，敗給被廣泛使用的 Nucleus。

關鍵字：嵌入式作業系統，網路協定軟體解決方案，整合式開發平台

1. 簡介

到底什麼是嵌入式系統呢？簡單來說，嵌入式系統是一種為了某一特定功能與需求所設計的系統。也因此，它具有了以下幾項特性：(1) 有限的資源；(2) 通常沒有硬碟，取而代之的是燒在記憶體上的韌體；(3) 低成本，高效能；(4) 非標準化的硬體架構；以及(5)即時作業系統(Real Time Operation System, RTOS)的搭配。其中第五點所謂的 RTOS 即是本文所要談的主題。應用於嵌入式系統的 RTOS 除了要提供一般 OS 功能外，他更必須有強化以下四點特徵：(1) 具有可插隊式(preemptive)的優先權多工，以避免系統因單一行程而當機。(2) 運作時的低記憶體需求，以利運作於資源吃緊的環境(3) 良好的 task 間溝通機制，以利 task 間動作的同步化；(4) 依照需求來彈性決定要包裝進核心的模組，避免佔用不必要資源。此外，為了提高競爭優勢，一個好的即時作業系統，除了上述提及的精簡快速及穩定的核心，更需要能提供良好的開發環境，並支援大量各式硬體裝置。

當系統廠商在挑選嵌入式作業系統時，除了評量它是不是一個好的即時作

業系統外，還需考慮到它在軟硬體方面的搭配以及收費情況。就目前市場使用情況而言，在一般消費性電子產品上佔有率較高的嵌入式作業系統有 Palm 與 Windows CE；在網路設備上則有 VxWorks [1]、pSOSystem3 [2]、Nucleus [3]，與 QNX [5] 等四個主流產品。表一列出在網路設備常用的這四個系統的基本描述。其 VxWorks 跟 pSOS 同為 Wind River[6]旗下的產品。前者在國外嵌入式系統的市場佔有率相當高，在國內則是叫好不叫座，已知的使用者有國基。後者在被 Wind River 收購後，發展已經大不如前，在主力產品 VxWorks 的勢力下，甚至是沒入黃昏的產品了。Nucleus 是由 Accelerated Technology[4]發展的產品，後來被 Mentor Graphics 併購。相對而言，Nucleus 在國內市場的普及率則高得多。QNX 則是近年來開始在國內力推的產品，目前由廣聯代理。

在後續的二三四節中，我們將針對這四個普遍應用於網路設備的嵌入式作業系統，從系統特徵，支援硬體，解決方案以及收費模式，逐一詳細比較，以期能對系統廠商在評估其適用性時能有所助益。最後，第五節是我們的結論。

	IDE	OS	Software Solution	Who use ? (domestic firm)	Vendor or representation
VxWorks	Tornado	VxWorks	• TMS : Tornado for Managed Switch • Source code	ambit	Wind River
pSOS	pRISM+	pSOSystem 3			Wind River
Nucleus	code lab EDE (an add-in product to Microsoft Visual Studio.)	• Nucleus Plus • Source code	• Nucleus NET / Nucleus SNMP / Nucleus RMON / Nucleus SPAN Nucleus WEBSERV / Nucleus Extended Protocol Package / Nucleus NAT / Nucleus PPP / Nucleus PPPoE / Nucleus EMAIL / Nucleus SNTP • Source code	Dlink Accton DNI	Accelerated Technology (Mentor Graphics)
QNX	Momentics	Neutrino	• Source code	None	ParaLink

表 1：四套嵌入式作業系統的概觀

2. 系統特徵與支援的硬體

由表 2 中可以粗略地認識這四個嵌入式作業系統在行程管理、檔案管理、記憶體管理、行程間通訊所具有的特徵以及是否提供 BSP (Board Support Packages)。所謂 BSP，可視為核心與裝置驅動程式間的介面。它負責了硬體裝置的初始化與存取。有了這層模組，開發者只需因應硬體架構的不同來做小幅度的修改與設定，大大地簡化了操控硬體原本該有的繁鎖工作。在此，值得注意的是，Nucleus 支援的檔案系統與 VxWorks 支援的記憶體管理單位 (MMU) 都屬於選購性質的，而非包含在原本的套件中。

	VxWorks	pSOS	Nucleus	QNX
Services	<ul style="list-style-type: none"> task management semaphores Timers signals inter-task communication 	<ul style="list-style-type: none"> task management semaphores events Timers Fixed & variable length queues asynchronous signals 	<ul style="list-style-type: none"> task management inter-task communication and synchronization Events memory timers hardware interrupts software signals 	<ul style="list-style-type: none"> task management inter-task communication
Multitasking	<ul style="list-style-type: none"> priority-based task scheduler round-robin, time-slicing preemptivex 	<ul style="list-style-type: none"> priority-based task scheduler preemptive 	<ul style="list-style-type: none"> priority-based task scheduler round-robin, time-slicing preemptive 	<ul style="list-style-type: none"> Priority-based task scheduler preemptive
Priority inversion	<ul style="list-style-type: none"> 256 priority levels (0 highest; 255 lowest) 	<ul style="list-style-type: none"> N/A 	<ul style="list-style-type: none"> 256 priority levels (0 lowest; 255 highest) 	<ul style="list-style-type: none"> N/A
POSIX Compatibility	<ul style="list-style-type: none"> almost all of the 1003.1b 	<ul style="list-style-type: none"> enhanced POSIX 	<ul style="list-style-type: none"> N/A 	<ul style="list-style-type: none"> POSIX APIs
File system	<ul style="list-style-type: none"> CD-ROM RT-11 SCSI DOS 	<ul style="list-style-type: none"> CD-ROM MS-DOS compatible NFS UNIX file system SCSI 	<ul style="list-style-type: none"> Nucleus File Nucleus File Drivers 	<ul style="list-style-type: none"> CD-ROM MS-DOS NFS

MMU	<ul style="list-style-type: none"> VxVMI 	<ul style="list-style-type: none"> supports MMU 	<ul style="list-style-type: none"> Nucleus MMU 	<ul style="list-style-type: none"> N/A
Mutual Exclusion	<ul style="list-style-type: none"> binary semaphore mutual exclusion semaphore 	<ul style="list-style-type: none"> semaphores conditional variables 	<ul style="list-style-type: none"> counting semaphore 	<ul style="list-style-type: none"> N/A
Inter-task Communications	<ul style="list-style-type: none"> shared memory messages (queues, pipes) 	<ul style="list-style-type: none"> N/A 	<ul style="list-style-type: none"> messages (mailbox, queues, pipes) 	<ul style="list-style-type: none"> messages
BSP	<ul style="list-style-type: none"> Yes 	<ul style="list-style-type: none"> Yes 	<ul style="list-style-type: none"> Yes 	<ul style="list-style-type: none"> Yes

表 2：四套嵌入式作業系統的系統特徵

除了快速，精巧穩定的核心外，一般說來，嵌入式作業系統尚須提供一個整合性開發環境(Integrated Development Environment, IDE)，以方便使用廠商開發自行的應用系統。所謂 IDE，是一套結合了文字編輯工具、編譯器、build -automation 工具、偵錯工具，以及軟硬體控管界面的軟體。其對整個計劃的集中管理，大大提升了開發者在研發過程中的便利性。各家 IDE 提供的工具請見表 3。

	Name	Development tools	
VxWorks	Tornado	<ul style="list-style-type: none"> Launch WindSh CrossWind Browser 	<ul style="list-style-type: none"> Project Facility WindView Simulator
pSOS	pRISM+ 3	<ul style="list-style-type: none"> pRISM+ new-project wizard pSOS configuration tools SNIFF+ Compilers 	<ul style="list-style-type: none"> pSOS+ aware Esp Object browser RTA suite Third-Party tools
Nucleus	code lab	<ul style="list-style-type: none"> code lab Ede code lab Debug code lab Connections code lab Targets 	<ul style="list-style-type: none"> XRAY Debugger Microtec C & C++ compilers
QNX	Momentics	<ul style="list-style-type: none"> Code Development tools Source Debugger Target System Tools Driver Development Kits 	<ul style="list-style-type: none"> Performance Optimization Tools Photon Application Builder

表 3：四套嵌入式作業系統的 IDE 介面

開發者在評估系統時，不可忽略的一環，便是其所支援的硬體是否夠廣泛。在表四中，我們詳細列出每個嵌入式作業系統所支援的 target 處理器。同時，也整理出開發端所適合的作業系統以供參考。從該表我們看出，MIPS、PowerPC、ARM 家族系列是最廣泛被支援的處理器種類。而 Windows 與 Solaris 則是能支援最多 host 開發端的作業平台。在此需注意到，Nucleus 的 code|lab EDE 是 Microsoft Visual Studio 的一個 plug-in，所以必須要先在 Windows 上裝有 Microsoft Visual Studio 6.0 後，才能使用 Nucleus 所提供的開發環境。

	Supported hosts	Supported targets
VxWorks	Windows NT4 SP3/95/98/2000 Solaris 2.5.1/2.6/2.7 HP-UX 10.2x	ARM - ARM7, ARM8, StrongARM, ARM7 in Thumb mode i960 - i960Cx, i960Hx, i960Jx, i960K[A/B], i960RP CPU32 MIPS32 - R3000, R4000, R4650 PowerPC - 4xx, 6xx, 8xx 68K - 68000, 68020, 68030, 68040, 68LC040, 68060 SPARC - SPARC, SPARCLite X86 - 386, 486, Pentium, PentiumPRO VxSim
pSOS	Windows NT 4/ 2000 Unix - Solaris	Motorola / IBM PowerPC architecture family - Motorola / BM RRC6xx, 7xx, 74xx - MPC8xx, 82xx - IBM PPC403 MIPS architecture family - MIPS 16, 32, R500
Nucleus	Windows	68K, X86, ARM, ColdFire, DSP, Hitachi, i960, INFINEON, MIPS, National Semiconductor, NEC, NIOS, PowerPC, SPARC, VideoCore®, XILINX, XScale
QNX	Windows NT4 SP6/2000/XP Sparc Ultra 5/10 (or above) Solaris 7/8	ARM, MIPS32, PowerPC, SH4, StrongARM, x86, XScale

表 4：各系統支援的硬體比較

3. 解決方案

接下來，讓我們來看看嵌入式作業系統廠所提供的關於網路協定的軟體解決方案。其所提供的解決方案多寡各有不同，詳細內容請參見附表 5。由表 5 中我們可以得知，VxWorks 的 Tornado for Managed Switch (TMS) 無論是在 layer 2 與 layer 3 網路標準、網路管理功能、與使用者界面上都提供頗完善的解決方案，還另外支援了網路設備堆疊(stackng)的功能，這對網路設備廠來說能夠節省很多移植 IP stack 與 protocol stack 的心力。同一家公司的 pSOSystem3 在這方面的提供遠遠不及 VxWorks。相較起來，它少了很多 layer 2 的功能與 layer 3 的 routing 項目，倒是多了別人都沒有的 NTP、IGMP，與 IPSec。Nucleus 雖然也提供了不算少的解決方案，甚至包括了 PPPoE 與 NAT，但是每門解決方案卻必需一一購買，而非全部囊括在一套中。至於 QNX 則只提供基本的 IP stack 功能。

大致說來，這些軟體解決方案並非嵌入式作業系統廠的主力產品，它們只是提供了一個配套性的解決方案，在效能與價錢的考量下，國內的廠商往往另求它解，或是另買網路套件，或是自行移植 open source 的網路解決方案。也因此，

嵌入式作業系統提供商投注在軟體解決套件上的開發精力有減少的傾向。

	Layer 2									Layer 3			
	TCP/IP stack	Bootp, DHCP	TFTP	STP	VLAN, GARP, GVRP, VMRP	IGMP snooping	PPP	PPPoE	Proxy ARP	routing	RIP	OSPF	IGMP
VxWorks	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø		Ø	Ø	Ø		
pSOSyste m3	Ø	Ø	Ø									Ø	
Nucleus	Ø	Ø	Ø	Ø			Ø	Ø		Ø			
QNX	Ø						Ø	Ø					

	Layer 4 ~ Layer 7							Management			UI		Other	
	NAT	DNS	NFS	EMAIL	FTP	NTP	SNTp	RMON	SNMP	MIB	TELNET	WEB	IPSec	stacking
VxWorks		Ø	Ø		Ø		Ø	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø		Ø
pSOSyste m3						Ø			Ø	Ø	Ø		Ø	
Nucleus	Ø			Ø			Ø	Ø	Ø	Ø		Ø		
QNX								Ø						

表 5：關於網路協定方面，各家系統提供的解決方案比較表

4. 收費模式

當開發廠商們在選擇所要使用的嵌入式作業系統時，價錢絕對是一個重要考量因素。通常收費狀況會有幾種模式：依處理器或依產品線來分。另外還有依產品功能來收費的。一般說來，我們可以從三個收費項目來評估該產品的買價是否合算。其一為權利金 (Licence Fee)；其二為版稅 (Royalty)；最後一個為售後服務 (Maintenance, or Technical Support)。詳細的收費模式請見表 6。在這所列出的收費資訊只是一個參考值，實際上的報價仍會因產量與合作關係等等因素而有不同。從表 6 中列出的資訊可知，VxWorks 的收費勇冠各家，光是權利金一年就至少得花上 30,000 美金，再加上版稅甚或售後服務費，若非出產量相當大或資本雄厚又肯投資的公司，可不是一般公司買得起的。

Nucleus 在要價上就平易近人的多了。最起碼，它免收版稅就為各系統廠商每年省去了不少成本。購買 Nucleus 產品還會附上三個月的 warranty。QNX 的收費方式分為二種：一為標準版；一為進階版。前者為只含作業系統的部分；後者則還包含了 IDE 與軟體解決方案。表 6 中所列的為標準版的收費資訊。另外，購買 QNX 還包含一年的售後服務。基於成本的考量，國內廠商們往往不會購買售後服務。就買 Nucleus 的客戶群來說，其中大約只有十分之一的廠商有購買售後服務。

	License	royalty	OS	Software	Maintance / Technical Support	Bounded with CPU or product
VxWorks	<ul style="list-style-type: none"> • \$ 10,000 / per user, per year • at least 3 user per year 	N/A	USD 50,000	USD 250,000 (TMS)	15% of the product charge	Yes, by project, by location and by CPU
pSOS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Nucleus	<ul style="list-style-type: none"> • Single product : a family = 1:3 • Single product :USD 14370 	None	N/A	USD 17,250 (Nucleus NET)	20% of the product charge	Yes, by processor/sing le product/ facility
QNX	about NT 300,000	USD 16/ 50,000 units below	N/A	N/A	25% of the product charge	N/A

Figure 6：各家系統之收費模式比較

5. 結論

綜觀以上幾點，可得知在嵌入式的环境下，為了能滿足即時特性，在行程的管理上會給予不同層次的優先權，使得高優先權的行程可以搶走目前進行中行程的資源，取而代之立即進行。此即我們所謂可插隊式(preemptive)優先權多工。行程間的通訊大家多半都採用訊息 (message) 傳送的方式。佇列 (Queue) 與管線 (Pipe) 更支援了多重訊息的處理。虛擬記憶體的使用在今日相當普遍，因此是否支援 MMU 也成了評量因素之一。而為了能涵蓋多數的硬體平台，嵌入式作業系統廠商盡量地讓產品相容於各式處理器架構上，也大量地發展了因應而生的 BSP。

雖然在選擇嵌入式作業系統時值得考慮的因素綜多，不過左右最後決定的似乎往往是成本考量。便宜又好用，無疑地是大家心中所衡量的那把尺。於是在所挑選的這四個嵌入式作業系統當中，最為國內廠商所廣泛使用的就屬 Nucleus 了。在網路產品的客戶群中，包括了龍頭大廠友訊以及智邦。除了價錢的考量之外，附有原始程式碼也是 Nucleus 的另一優勢。VxWorks 雖然知名度高、口碑好，但居高不下的要價，是它在國內網路設備廠商中不敵 Nucleus 的一大主因。同一門下的另一產品 pSOS，在被 Wind River 接收之後，將逐漸被合併至 VxWorks 中。也因此，未來將不會有新版的 pSOS 釋出。QNX 的訴求是在高階的應用，截至目前為止，國內尚無網路設備系統廠商採用這套作業系統。

6. 參考資料

- [1] “VxWorks 5.x” Homepage,
<http://www.windriver.com/products/vxworks5/index.html>, WindRiver.
- [2] “pSOSystem 3” Homepage,
http://www.windriver.com/products/psosystem_3/psosystem_3.pdf, WindRiver

- [3] “Nucleus Overview”, http://www.acceleratedtechnology.com/new_content/pdf_download/brochures/Nuc_Prdct_Ovrvw.pdf, AcceleratedTechnology.
- [4] AcceleratedTechnology.com Homepage, <http://www.acceleratedtechnology.com/index.html>, AcceleratedTechnology.
- [5] QNX Homepage, <http://www.qnx.com/>, QNX Software Systems.
- [6] Wind River Homepage, <http://www.windriver.com/>, WindRiver.