

嵌入式操作系统内存管理技术的分析与比较

■ 国防科技大学 田林林 张权 唐朝京

摘要 介绍了两种主流的智能手机嵌入式操作系统——WinCE 和 Symbian, 从整体架构、ROM 与 RAM、MMU 以及其他技术方面对这两种嵌入式操作系统进行分析比较。在此基础上, 提出了未来嵌入式操作系统的发展趋势, 为嵌入式操作系统的选择提供了依据。

关键词 嵌入式操作系统 内存管理 WinCE Symbian

1 概述

内存管理是操作系统的中心任务之一。内存管理模块通常是操作系统内核的一部分, 其主要任务是为操作系统内核和各执行程序组织内存, 跟踪当前内存使用状况, 在需要时为进程分配内存, 使用完毕后释放并回收内存。智能手机操作系统作为嵌入式操作系统的一种, 较之普通桌面型操作系统, 其内存管理有着独特之处: 受硬件成本、设备体积等因素制约, 内存容量一般相当有限, 需要高效地使用; 电源管理尤为重要, 一次充电要保证数小时以上的工作时间; 手持设备内程序一般几天甚至几个月不停运行, 系统稳定性要求高, 需保证用户数据的安全。

此外, 与传统的嵌入式实时操作系统相比, 如 Vx-Works, μ CLinux 等, 智能手机嵌入式操作系统还是一个开放性的操作系统, 这意味着几乎所有的智能手机嵌入式操作系统都允许用户安装第三方程序。因此, 在操作系统设计时还要综合考虑编程的易用性及接口的模块化, 以适应终端用户、制造商、操作系统软件开发者和第三方软件开发者的不同需求。

1.1 Symbian 操作系统

Symbian 操作系统是智能手机市场中的主要成员, 其市场份额超过 70%。该操作系统由英国 Symbian 公司负责研发和维护, 目前该公司由 Nokia、SonyEricsson、Panasonic、Samsung 等公司共同所有。Symbian 操作系统的前身是 EPOC, 这是一个多任务的 32 位软实时操作系统。Symbian 在设计之初就是专门针对高度内存受限的系统的, 因此其在内存使用和电源管理上具有很多优势。Symbian 操作系统具有完善的软件开发包, 供第三方应用程序开发使用。目前最新版本的 Symbian 操作系统为

Symbian OS 9.5^[1]。

1.2 Windows Mobile 操作系统

Windows Mobile 是微软为手持设备推出的“移动版 Windows”。使用 Windows Mobile 操作系统的设备主要有手机、PDA、随身音乐播放器等。该操作系统是基于 Windows CE 内核的一种嵌入式操作系统。由于与桌面 Windows 操作系统的兼容性, 第三方开发者可以很方便地为 Windows CE 开发程序, 但与桌面 Windows 开发仍存在较大区别。目前常用版本为 Windows Mobile 6.1, 最新版本 6.5, 均基于 Windows CE 5.2 内核。为表述一致, 下文中将 Windows Mobile 简称为 WinCE^[2]。

2 内存管理技术分析与比较

2.1 整体架构

Symbian 操作系统诞生之初, 是针对掌上型资源高度受限设备开发的。为了追求极致的性能和最小的资源消耗, 它从操作系统内核到编程框架都进行了严格的优化, 甚至对 C++ 的不少基本机制也进行了大刀阔斧的革新。因此软件开发者和厂商需要掌握新的 Symbian C++ 语法及新的编程接口。Symbian 操作系统兼容性较差, 一般只支持 ARM 系列处理器。

WinCE 系统在设计之初就充分考虑到对桌面操作系统组件和编程接口的兼容性, 这样给程序开发者带来很大益处, 并且方便厂商进行设备升级及驱动维护。WinCE 支持多种 CPU, 如 ARM、MIPS、SH4、x86 等。因此其在内存管理模块设计上的兼容性和接口的规范性更好。

Symbian 相对于 WinCE 的优势在于其针对指定处理器设计的内存管理模块更加高效, 但是这也以牺牲兼容性为代价。出于对电源管理的考虑, Symbian 系统的设备

CPU 频率普遍较 WinCE 要低,一般为 100 ~ 300 MHz (WinCE 是 300 ~ 800 MHz)。

2.2 ROM 与 RAM

(1) RAM

RAM 全称为随机存取存储器,通常作为操作系统或其他正在运行的程序的临时存储介质,速度较快,但是当电源关闭时存储的数据会丢失。

WinCE 中 RAM 被分成两块区域,对象存储和程序区(系统堆)。对象存储可以被看作类似一个永久的虚拟 RAM 磁盘。在 Pocket PC 上,当显示屏关闭后,系统并没有真正断电,而是进入低功耗的睡眠状态(由主电池来供电)。当按下 Reset 按钮后,Windows CE 内核在 RAM 中寻找最近一次创建的对象存储,如果找到,就用这个对象存储重新启动^[3]。

RAM 的另一个区域是程序区。这个区域就像 PC 机的 RAM 一样。它存放所运行程序的堆和栈的空间。对象存储和程序区的界限是可移动的。在低内存的情况下,系统会请求用户把部分可用的存储对象空间提供给运行程序使用,以满足程序运行时对 RAM 的需要。

在 Symbian 操作系统中, RAM 不存在类似于对象存储的区域,其 RAM 全部用于运行程序的临时执行和数据存储器。因此一般 Symbian 操作系统上 RAM 大小为 7 ~ 30 MB,小于 WinCE 中的 32 ~ 128 MB。

(2) ROM

ROM 是只读存储器。在 PC 机上,ROM 用来存储 BIOS,通常是 64 ~ 128 KB。在 WinCE 系统中,ROM 用来存储整个操作系统以及和 OS 绑定的应用程序。Symbian 系统中 ROM 功能类似,也是用来存储系统驱动程序及系统 DLL 和配置文件。对 ROM 进行写入需要指定的设备,普通用户无法对 ROM 中的数据进行操作。由于 ROM 中的代码都是经过特殊编译,去除了重定位代码段,因此可以在 ROM 上直接执行(execute in place),不用加载到 RAM 中,从而提高了启动速度并节省了 RAM 资源。

2.3 MMU

作为现代操作系统的一种,智能手机操作系统具有强大而高效的 MMU,在这一点不同于其他实时嵌入式操作系统,如 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 和 μClinux 。通过 MMU 提供的内存映射和数据保护,可以提高操作系统的运行效率和安全性。MMU 运行于 CPU 和系统总线之间,负责在虚拟地址和物理地址之间进行转换,在任一次内存访问中都会进行 MMU 的地址查找^[4]。

(1) 虚拟内存

Windows CE 是 32 位操作系统,支持 4 GB 的虚拟地址空间。高 2 GB 是系统内存空间,用来存储相应的系统

数据。低 2 GB 是用户空间。所有的应用程序均有 2 GB 的虚拟地址,但是每个应用程序的内存空间都是受保护的,其他应用程序不能访问。从最低的虚拟地址空间开始,分为 33 个 slot,每个 slot 为 32 MB。每个 slot 被分配为当前运行的进程。slot 0 中存放当前激活的进程。当 WinCE 在进程间切换时,它就重新映射地址空间,把原进程移出,新进程移进 slot 0。这个任务是通过操作微处理器的页转换表来迅速完成的。

WinCE 定义了 4 种内存状态: normal、limited、low、critical。这些状态的划分主要取决于当前可用的内存大小。在 WinCE 中,当出现内存不足的情况时,线程首先被挂起。这时系统如果没有可用的物理 RAM,需要栈空间的线程就会被挂起。系统首先发送 WM_HIBERNATE 消息,该消息会向所有的进程请求。它们在不破坏各自内在状态的情况下尽量释放内存,比如释放 GDI 对象、缓冲数据等,然后限制内存申请的请求。如果在给定的一小段时间内,这个内存需求不能得到响应,就会弹出系统异常。在低内存情况下不应该尝试使用大量的栈空间。

而在 Symbian 操作系统中,系统能运行的程序数量是由实际内存大小决定的,而限于 32 个。当内存不足时,运行新程序将会收到内存不足的警告,并终止进程。

(2) 虚拟地址映射

MMU 一般将页面分成 4 KB 大小的页面。由于 CPU 不同,页面大小也可以是 1 KB 或其他大小。内核使用 MMU,将物理内存映射到块的虚拟地址范围内。

WinCE 与 Symbian 的虚拟地址映射图如图 1 所示,其中 WinCE 内核表现为 NK.exe 进程。

2GB 内核 空间	内核虚拟地址等	0xFFFFFFFF	本地区域	0xFFFFFFFF
	静态映射虚拟地址, NK.exe 等	0xF0000000		0x80000000
2GB 用户 空间	内存映射文件	0x80000000	ROM、MMU 页表、硬件	0x3FFFFFFF
	slot 1-slot 32 进程	0x42000000	运行区域	
	slot 0 当前进程	0x02000000	CPU 使用	0x00400000
		0x00000000		0x00000000

(a) WinCE 虚拟地址映射

(b) Symbian 虚拟地址映射

图 1 虚拟地址映射

在 ARMv5 中,最高层的页表有 4 096 个条目,每个条目 4 字节,因此整个目录就有 16 KB。由于 WinCE 支持多种不同的 CPU, CPU 设计结构不同页目录也不同,但是计算方法与 ARMv5 类似。WinCE 首先直接给每个进程分配一个不同的页表,在进程切换中直接将不同进程的页表写入 MMU 的基寄存器 TTBR 中来实现映射。而 Sym-

Symbian 系统认为每个进程分配 16 KB 页表会造成内存的浪费,因此采用了另一种管理地址映射的方法。

该模型针对 ARMv5 结构设计,被称为移动内存模型。其核心思想是对每个进程都提供同样的虚拟地址空间,但是被保护的内存页面却不一样。在页面切换中,首先将原有进程的内存移出执行地址空间,使其在用户模式下不能访问。接着将新进程的数据移入执行地址,并使其可以访问。这一思想是在内存模型上层通过 Chunk 实现的。通过 ARMv5 中提供的页表访问权限和域概念,通过改变 MMU 中寄存器指向的域,达到进程间保护和内存映射。这种设计方法带来了内核层的低内存消耗,但是虽然在内核层的安全性和内存使用效率上有所改善,却对其他进程的运行带来一定影响。当映射到不同的虚拟地址空间,所有被修改的数据都要重新从主存中载入,并且缓存中的数据因为已经被丢弃,必须重新载入。因此,该模式下的进程上下文中很大一部分时间消耗在缓存的刷新上,一般情况下其速度是线程切换(同进程)的 1/100 左右。尽管采取了其他措施,但是没有从根本上改变运行时间。

在最新的 ARMv6 中,Symbian 引入了多重内存模型。该模型兼容性更强,并可在主流处理器 Intel x86 和 Renesas SuperH 上使用。该模型建立在与设备和操作系统无关的基础上,利用 ARMv6 中的应用空间标识器(ASID),并通过物理标记缓存技术保证了在虚拟地址和物理地址间多重映射的正确性,很好地解决了移动内存模型中的缓存刷新问题⁵。

2.4 其他技术

(1) 按需页面调度

由于在系统中虚拟内存远大于物理内存,因此系统必须对内存使用格外注意。一种节约物理内存使用的方法是,只加载当前运行程序使用的虚拟内存所对应的物理内存,这种方法称为按需页面调度。当一个进程试图访问一个不在当前内存中的虚拟内存地址时,系统这时会重新从磁盘上将该区域加载到内存中去。桌面操作系统很久以来一直使用这一技术,来加快系统启动速度和优化程序运行效率,WinCE 也不例外。

WinCE 中,可以通过使用 Config.bib 对整个系统的按需页面调度进行设置,或通过 LoadDriver 等函数对单个 DLL 的按需页面调度进行设置。Symbian 操作系统却不支持这一技术。这主要是由于系统本身内存太小,采用这一技术会带来性能大幅下降。不过随着手机硬件的发展,在 Symbian OS v9.3 以后,系统开始支持按需页面调度。这一技术优化了内存使用,在需要时加载只读代码,从而实现了 RAM 的更高使用效率。这可以让用户更快地安装应用程序,并同时保持多个应用程序的开放状态。

(2) 内存碎片整理

在一个实时系统中,连续的页面请求可能会带来性能的下降。这是由于在小对象(小于 1 KB 的数据类型)对内存的频繁的动态申请和释放过程中,由于释放后留下的空洞不够新对象分配,导致不连续的内存可用空间无法被应用程序获得,造成可用内存迅速耗尽。这种内存空洞也叫内存碎片。操作系统可能会对这种情况作一定程度的优化,但是由于将内存可用空间压缩而导致的效率负担,并不是所有的操作系统都会对此优化。

得益于 Symbian 操作系统本身优化的内存管理和高度受限的内存使用原则,内存碎片其实并不会对手机系统的性能和内存使用率造成明显影响,因此早期的 Symbian 版本并不支持内存碎片整理,只提供简单的手动内存压缩功能。Symbian 9.5 之所以引入“自动”内存碎片整理,一个重要的原因是:目前手机终端的内存容量变得越来越大,内存的能耗已经不容忽视。在新版本中,借助内存碎片整理,可以关闭连续的空闲物理内存块以节约能耗,当然它同时也提供了其他在主流操作系统中体现的改进——更高效的内存访问和更大的空闲可用内存⁶。

在 WinCE 中,虽然不存在自动内存碎片处理,但是微软推荐使用 VirtualAlloc、LocalAlloc、HeapAlloc 等函数直接操作虚拟内存页,本地堆和分离堆进行内存分配操作,而不是使用如 malloc、new 这类会导致内存泄漏或异常的操作。

3 小结

Symbian 与 WinCE 在内存管理模块的设计上各有优劣,这主要是由于两个操作系统在设计之初的理念不同。Symbian 设计之初是以高度受限的内存为原则进行设计,在硬件发展较为落后的时期取得了巨大的成功,但这也给第三方软件开发带来很多困难。WinCE 设计之初既要保持与 Windows 其他系统在编程接口上的兼容,又要尽可能地提高内存使用效率,这样不免对性能带来一定程度的影响。随着硬件的发展,智能手机的处理器速度和内存大小都有了很大提高,WinCE 由于对第三方开发者的友好性,其发展仍然不可限量。■

参考文献

- [1] Babin Steve. Developing Software for Symbian OS[M].北京:人民邮电出版社,2006.
- [2] Boling Douglas. Programming Microsoft Windows CE.NET[M].3rd ed.NY: Microsoft Press,2003.
- [3] Microsoft Co., Ltd. Windows Mobile version 5.0 Help Documentation[OL]. [2009-06]. [http://msdn.microsoft.com/zh-cn/library/bb158532\(en-us\).aspx](http://msdn.microsoft.com/zh-cn/library/bb158532(en-us).aspx). 下转 11 页

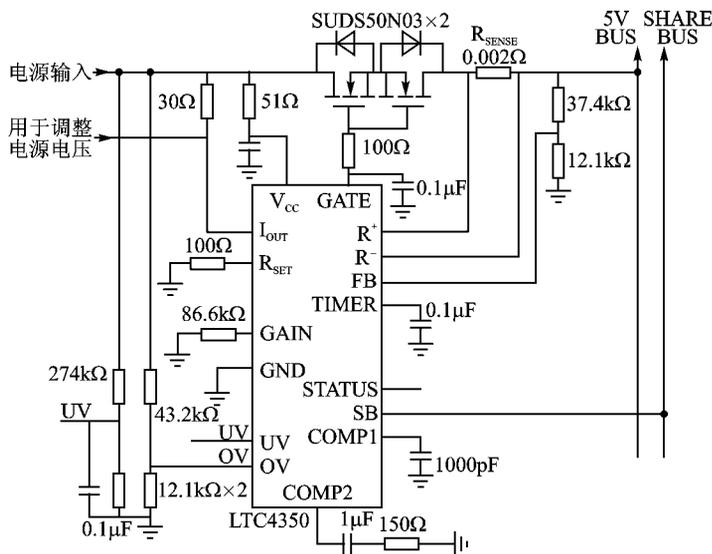


图9 LTC4350 构成的均流控制冗余电源方案

R_{SENSE} 为电流检测电阻, LTC4350 检测该电阻两端的电压, 内部放大后与 GAIN 引脚的电压比较, 根据比较结果再通过 I_{OUT} 引脚的模拟输出控制输入电源的电压变化, 以达到调整该路电源输出电流的目的。另外, UV、OV 引脚分别为欠压、过压检测引脚, LTC4350 通过检测这两个引脚的电压可以控制 MOSFET 的关断, 实现欠压保护和过压保护的功能。

参考文献

- [1] Kando Bob. 服务器的冗余电源技术[J]. 电子工程专辑, 2007(7).
- [2] 陈忠民. 热插拔冗余电源的设计[J]. 微型机与应用, 2002(4).
- [3] 吴琼, 陈立剑. 轻载下的正激同步整流变换器分析[J]. 电源技术应用, 2007(3).

张晓健(高级工程师), 从事通信、监控产品的研发。

(收稿日期: 2009-06-05)

Low Voltage Redundant Power Schemes

Zhengzhou VCOM Electron Technology Co., Ltd. **Zhang Xiaojian**

He'nan Haihua Engineering Construction Overseeing Co., Ltd. **Li Zhixin**

Abstract Advantages and disadvantages of traditional and alternative power redundancy schemes are pointed out after systematic introduction and analysis. Application principles of MOSFET in the new low voltage power design are described. Several typical application circuits based on LTC4416, PI2121, LTC4352, LTC4350 and TPC2412 respectively are given according to different requirements.

Key words redundant power source; hot backup; MOSFET

上接 7 页

- [4] 孙益辉, 陈凯, 白英彩. 嵌入式操作系统内存管理机制分析和改进[J]. 计算机应用与软件, 2006, 23(3): 98-115.
- [5] 李娜, 方彦军. 嵌入式系统内存规划方法的研究[J]. 微型机与应用, 2005(11): 74-76.
- [6] 黄贤英, 王越. 嵌入式实时系统内存管理策略[J]. 计算机工程与设计, 2004, 25(10): 1808-1810.

田林林(硕士研究生), 主要研究方向为嵌入式系统安全技术; 张权(副教授), 主要研究方向为网络协议与密码技术; 唐朝京(教授), 主要研究方向为网络攻防技术。

(收稿日期: 2009-07-15)

Analysis and Comparison of Memory Management Techniques for Embedded Operating System

National University of Defense Technology **Tian Linlin, Zhang Quan, Tang Chaojing**

Abstract The paper introduces two main stream embedded operating systems for smart phones, WinCE and Symbian, and analyzes and compares the two embedded operating systems in monolithic structure, ROM and RAM, MMU, and other techniques. Development trend of future embedded operating systems is put forward, and a basis for choosing embedded OS is provided.

Key words embedded operating system; memory management; WinCE; Symbian