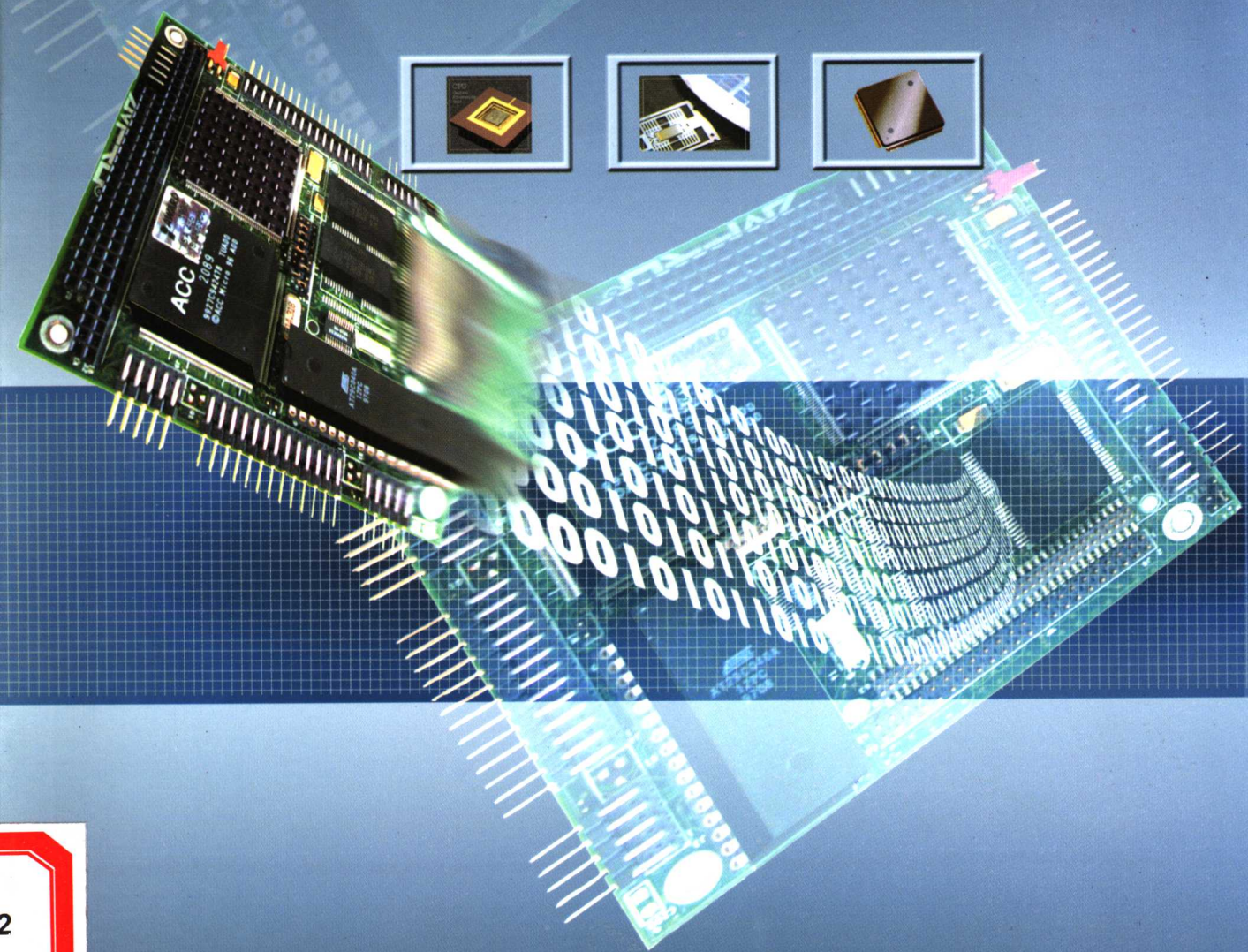
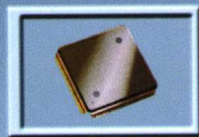
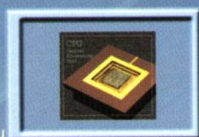


嵌入式软件开发技术

Embedded Software Development Technology

陈翌 田捷 王金刚 编著



國防工業出版社

<http://www.ndip.cn>

嵌入式软件开发技术

陈翌 田捷 王金刚 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书主要讲述嵌入式操作系统以及嵌入式软件开发工具、开发方法、软件仿真和调试方法,其中包括:VxWorks、Linux、PalmOS 和 Windows CE 等。内容系统全面、实用,可供广大计算机应用领域的科技人员和有关专业师生使用参考。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式软件开发技术 / 陈翌等编著. —北京:国防工业出版社, 2003.10

ISBN 7-118-03264-6

I. 嵌... II. 陈... III. 软件开发 IV. TP311.52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 082862 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 17¼ 394 千字

2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月北京第 1 次印刷

印数:1—3500 册 定价:28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

序 言

我第一次接触 VxWorks, 是 1986 年在美国伦塞利尔理工学院(RPI)机器人与自动化实验室作博士研究生的时候。当时感受最深的就是凭什么一个操作系统要 6 万多美元, 比我们的被控制对象 PUMA 机器人系统还要贵? 那时, 采用 VxWorks 只是为了实现实时控制, 根本没有想到它会同嵌入式系统挂上钩, 更没有想到 10 多年后嵌入式系统会成为计算机技术领域的一个热点和电子应用的一个主要动力。

本书作者之一中国科学院复杂系统与智能科学重点实验室研究员田捷博士请我为《嵌入式软件开发技术》一书作序, 其实我并不是本书的合适作序人。首先是因为自己一直没找到时间细读本书稿, 其次是尽管自己在嵌入式系统方面教书和应用 10 多年, 但的确没有做过深入的研究, 对嵌入式的认识更是片面和肤浅。然而, 对于嵌入式技术时代性的重要意义, 我是非常认同的, 也十分鼓励我们实验室的科研人员扎扎实实地做好这方面的工作, 不但在工程应用上有所创新, 在方法研究和系统集成上也希望有所贡献。同时, 我也希望借此机会谈一下自己对电子和信息系统机械化进程的点滴认识。虽然这看来与本书没有直接关系, 其实是嵌入式系统发展的实质, 至少到目前为止, 我的观点如此。

本书对嵌入式系统的历史和发展进行了简洁的描述。嵌入式系统的核心就是将计算与应用合为一体。对于听烦了“随时都算, 到处都算(Computing anytime, computing anywhere)”的现代人来说, “合为一体”听起来像是多余。要理解“嵌入”的真正含义, 最好回忆或了解半个多世纪之前的机械计算、真空管计算机以及相应的“离线”和“异时”的计算方式。脱离这一历史背景, 很难把握嵌入式系统的实际含义。这可能也是为什么人们经常问“到底什么是嵌入式系统”的原因之一。2001 年, 我承担了为美国亚利桑那州三所州立大学的工程硕士设立“实时嵌入式系统(Real-time Embedded Systems, RTES)”网上课程的任务, 曾为说明什么是 RTES 费了一番精力, 试着下过许多定义, 但总不能使自己满意, 最后折中为“Embedded systems are systems that rely on a combination of internal hardware and software to perform dedicated functions. A real-time embedded system is one in which the correctness of computations not only depends on their logical correctness, but also on the time at which the result is produced”。

其实, 就像百年前有人会问什么是“电器”一样, 我相信嵌入式系统也很快会无处不在, 什么是嵌入式也将成为一个不是问题的问题, 今天的答案, 也会成为嵌入式系统历史上不是答案的答案。据美国 IDC 的预测, 嵌入式系统将以 15% 的年增长率发展, 形成上万亿美元的产品市场, 这从一个方面预示着“嵌入式时代”的到来。网络的广泛应用更是大大加速了这一进程。

本书的重点是介绍各类嵌入式操作系统及其使用, 特别是 VxWorks, Linux, PalmOS 和 Windows CE, 以及 pSOS, QNX, EPOC 等等。操作系统成为嵌入式的核心, 是一个时代的特征, 也是嵌入式系统从简单的单片机、微处理器走向愈来愈复杂的嵌入式 SOC 和 CPU

的自然体现。

目前世界上已开发了几百种嵌入式操作系统,我相信这是走向面向应用特定操作系统(Application Specific Operating Systems, ASOS)的开始。ASOS 的概念是硬件中 ASIC(Application Specific Integrated Circuits)概念在软件中的对称或对偶,相信 ASOS 对于嵌入式软件系统的发展,也将起到像 ASIC 在处理器硬件发展中所起的作用。必须指出的是,当前的许多所谓“专用”操作系统,其实只是面向特定应用的操作系统(Specific Application OS),并不是 ASOS。从面向特定应用到面向应用特定,也就是从实践到理论、零散到系统、艺术到工程的变化过程。Linux 会在这一过程中起重要作用,但决不应是主要或核心的作用。

自 20 世纪 90 年代末,出于自己从事实际工程的切身感受和经历,我一直极力“鼓吹”ASOS 的概念,可惜 OS 不是我的专业,效果不大。2001 年我曾与浙江大学计算机系教授吴朝晖博士合作,写了一篇关于 ASOS 的文章(见“ASOS:嵌入式操作系统的发展趋势”,《计算机世界》2001 年 11 期),一方面是希望引起更多的专业人士重视,另一方面是吸取了自己在“SOPC”上的“教训”。20 世纪 90 年代初,我在亚利桑那大学讲授《嵌入式微系统设计》课程(SIE 370),由 FPGA 想到 Systems on Programmable Chip,建议学生进行这方面的实验设计,可惜自己没有花精力深入研究下去,当 SOC 成为热点之时,为时已晚。本书没有涉及有关 FPGA 之类的嵌入式系统内容,虽然合理,但我个人总觉得遗憾。

从 ASOS 到各类的嵌入式系统,我认为这反映了电子和信息系统已开始了“机械化”的进程。机械类“传统”学科从早期的应用“艺术”发展到成熟的工程“科学”,经历了差不多百年的演化。虽然现在还在而且将来也会继续发展,但相对于许多其他学科而言,其发展速度明显是滞后的,近 10 多年来,也正以机电一体化以及计算机信息化进行学科的改造。从事电子和信息学科研发的人员,尽管可以为自己最初的专业选择感到“Lucky”,但不能不考虑电子和信息其实也正朝着“机械化”方向发展:明天的电子、计算机和信息学科,可能不会再用百年的时间,就会“成熟”到今天的机械类学科。而且,这一发展已经历了半个多世纪,目前正处于加速发展阶段,还剩多少的“黄金”岁月,何时“没落”到“传统”的学科,是不能不面对的学科“生存”问题。

当然,从科技发展和社会进步的角度考虑,电子和信息的机械化进程是一件大好事。ASOS 的成熟和嵌入式系统的广泛应用,必然加速系统程序设计的模块框图化和开发环境的集成智能化的趋势,其最终结果将不可避免地导致编程工作从“智力”型转化成“劳力”型:明天的程序员或许就是今天的电工或钳工。

希望田捷等同仁的新著将对嵌入式系统的应用和机械化进程有所帮助,也希望中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学重点实验室对此有所贡献。实验室在嵌入式系统开发和应用,从教学平台系统、指纹和医学图像处理,到智能机器人和制造过程控制系统,目前都已经有了相当的基础。下面需要做的是“百尺竿头,更进一步”,尽快形成具有特色的关键性嵌入式系统集成技术。

王飞跃

中国科学院百人计划入选者

中国科学院复杂系统与智能科学重点实验室主任

美国亚利桑那大学教授

前 言

嵌入式技术(Embedded Technology)已经成为新的技术热点,但嵌入式技术并不是近几年才诞生的技术。凡是将计算机的主机嵌入应用系统或设备之中而不容易为用户所知的计算机应用方式都是嵌入式应用(Embedded Application);与嵌入式应用相关的技术均属于嵌入式技术的范畴。在这里,计算机往往没有人们所熟知的主机式应用的键盘、鼠标、显示器,但嵌入式系统却是系统的核心、设备的智能部件。实际上,嵌入式技术是计算机世界的一种“古老”技术。近几年来,在嵌入式应用领域内技术蓬勃发展,市场迅猛扩大,应用深入到了生产和生活的每个角落。在工业制造、过程控制、通信、仪器、仪表、汽车、船舶、航空、航天、军事装备、消费类产品等方面均成为嵌入式计算机的应用领域。嵌入式设备已有 30 多年的发展历史,但是从来没有像现在这样风靡过,人类从来没有像现在这样享受“嵌入式计算”(Embedded Computing)带来的便利。

今天,嵌入式系统带来的工业年产值已超过 10 000 亿美元,1997 年来自美国嵌入式系统大会(Embedded System Conference)的报告指出,未来 5 年基于嵌入式计算机系统的全数字电视产品,就将在美国产生一个每年 1500 亿美元的新市场。美国汽车大王福特公司的高级经理也曾宣称:“福特出售的‘计算能力’已经超过了 IBM”。由此可以想象嵌入式计算机工业的规模和广度。1998 年 11 月在美国加州举行的嵌入式系统大会上,基于实时操作系统(RTOS)的嵌入式互联网应用(Embedded Internet)成为了一个技术新热点。在国内,嵌入式应用同样已成为新的技术热点。

同时,嵌入式应用和互联网应用的结合,使嵌入式应用具备了新的技术特征:无线通信(Wireless Communication)和交互计算(Interactive Computing)。通用的计算工业、嵌入式的计算工业和互联网技术的迅猛发展,逐渐形成了“Anywhere Computing”的应用环境,极大地促进了整个 IT 产业的发展。

嵌入式领域的技术包括嵌入式处理器、嵌入式操作系统、嵌入式开发工具、仿真工具、调试工具以及围绕嵌入式系统开发方法和面向应用的工程理论等等。

据不完全统计,全世界嵌入式处理器的品种总量已经超过 1000 多种。目前国际上已有 200 多种嵌入式操作系统,而各种各样的开发工具、应用于嵌入式开发的仪器设备更是数不胜数。在国内,虽然嵌入式应用开发很广,但在嵌入式处理器、仿真器和调试仪器等领域却刚刚起步,并处于新技术的应用热点。例如,中芯微电子 32 位嵌入式芯片“方舟-1”研制成功;同时,北京大学的科研人员研制出了支持 32 位和 16 位两套指令系统的微处理器,这些都标志着我国嵌入式微处理器的研制达到了 20 世纪 90 年代末的国际水平。此外,中国科学院计算研究所成功研制出“龙芯”芯片,对中国嵌入式芯片工业也产生了重大影响。在嵌入式操作系统方面,HOPEN 等国产操作系统和国人在嵌入式 Linux 上的探索,都具有深远影响。但是我们应该看到国内外在嵌入式技术上还是存在着一定

的差距;缩小这种差距是中国计算机专家和工程师们责无旁贷的责任,也是本书的成因之一。

本书主要讲述嵌入式操作系统、嵌入式软件开发工具、开发方法、软件仿真和调试方法。其中,参加本书编写的还有马建军(Vxworks 和 Linux 部分)、张立群(Palm OS 和 Windows CE 部分)、姜平、毕晓东和王铮(嵌入式操作系统和应用部分)。本书主要由中国科学院自动化研究所的知名教授和诸多研究生的共同努力,并结合多年的研发经验完成本书的编写、校对和修改,从而使得本书得以顺利的出版。

在此,非常感谢中国科学院自动化研究所众多师生的努力和支持,以及天津大学信息学院师生的大力协助。同时,非常感谢国防工业出版社李宝东编辑在书稿编辑过程中的协助,其敬业精神给我们留下了深刻的印象。

由于时间仓促,本书错漏之处还望各位专家和读者指正。

目 录

第 1 章 嵌入式应用简述	1
1.1 嵌入式应用的历史	1
1.2 嵌入式系统	3
1.3 嵌入式处理器	6
1.3.1 嵌入式微处理器	6
1.3.2 嵌入式微控制器	7
1.3.3 嵌入式 DSP 处理器	7
1.3.4 嵌入式片上系统	8
1.4 嵌入式操作系统与开发技术	8
1.4.1 嵌入式实时多任务操作系统	9
1.4.2 实时多任务操作系统与分时多任务操作系统	9
1.4.3 实时操作系统中的重要概念	9
1.4.4 实时操作系统的工作特性	9
1.5 总结	10
第 2 章 嵌入式操作系统引论	11
2.1 实时嵌入式操作系统	12
2.1.1 VxWorks	13
2.1.2 pSOSsystem	13
2.1.3 QNX	16
2.2 “软”实时嵌入式操作系统	17
2.2.1 微软嵌入式操作系统家族	17
2.2.2 PalmOS	18
2.2.3 EPOC	20
2.2.4 Embedded Linux	22
2.3 关于嵌入式操作系统的资源	23
2.3.1 英文资源	23
2.3.2 中文资源	23
2.4 总结	24
第 3 章 VxWorks	25
3.1 VxWorks 初步	25
3.1.1 VxWorks 简介	25
3.1.2 VxWorks 的基本结构	26

3.1.3	VxWorks 系统开发工具	28
3.1.4	可执行代码程序镜像文件	30
3.1.5	Image 的构成	30
3.1.6	Image 的执行	35
3.1.7	在内存(Memory)中存放 Image	35
3.1.8	调试	37
3.2	VxWorks 开发环境	40
3.2.1	开发环境设置	42
3.2.2	从 ROM 启动	43
3.2.3	使用工具	44
3.2.4	WDB 代理配置	47
3.3	实时系统实现	48
3.3.1	实时系统	48
3.3.2	实时系统开发	48
3.4	深入 VxWorks	61
3.4.1	VxWorks 任务	61
3.4.2	POSIX 调度接口	76
3.4.3	VxWorks 任务间通信机制	80
3.4.4	共享数据结构	80
3.4.5	互斥	82
3.4.6	信号量	82
3.4.7	消息队列	92
3.4.8	管道	97
3.4.9	信号(Signals)	98
3.4.10	中断服务程序	101
3.4.11	看门狗	105
3.4.12	POSIX 时钟和计时器	106
3.4.12	POSIX 内存上锁接口	107
3.5	开发实战	108
3.5.1	预备知识	108
3.5.2	开发目标	116
3.5.3	开发工具	117
3.5.4	系统设计	119
3.5.5	源程序说明	120
3.5.6	网卡、网桥	130
3.5.7	任务、看门狗定时器、消息队列示例	145
3.5.8	BSD 程序移植	150
3.5.9	软件调试	157
3.6	关于 VxWorks 资源	161

3.6.1	VxWorks	161
3.6.2	Tornado	161
3.6.3	Network	162
3.6.4	有关主机工具的手册	162
3.6.5	有关 VxWorks 操作系统的手册	162
3.6.6	Tornado 在线 HTML 手册	162
3.6.7	Tornado 在线帮助	162
3.6.8	其他资源	162
3.6.9	其他一些感兴趣的新闻组	162
3.7	总结	163
第 4 章	嵌入式 Linux	164
4.1	采用 Linux 作为嵌入式系统开发工具的原因	164
4.1.1	嵌入式处理器支持	165
4.1.2	实时支持	165
4.1.3	网络支持	166
4.1.4	GUI 开发支持	166
4.2	实时 Linux	168
4.2.1	实时 Linux(RTLinux)介绍	168
4.2.2	RTLinux 特征	169
4.2.3	RTLinux 的实现机理	170
4.2.4	RTLinux 的编程接口(API)	171
4.2.5	RTLinux 的编程方法示例	172
4.2.6	嵌入式 RTLinux 的设计	179
4.3	Linux 对 TCP/IP 网络的支持	181
4.3.1	Linux 网络概述	181
4.3.2	Linux 网络设备驱动程序的分析	182
4.3.3	在嵌入式系统中实现网络协议栈	188
4.4	调试环境的搭建和定制	189
4.4.1	远程调试环境的搭建原理	190
4.4.2	Linux 的内核调试环境的搭建	193
4.4.3	RTLinux 的调试环境的开发设想	198
4.5	关于嵌入式 Linux 的资源	199
4.6	总结	200
第 5 章	Palm OS	201
5.1	Palm OS 概况与开发工具的选择	201
5.1.1	Palm OS 概述	201
5.1.2	开发工具的选择	203
5.2	开发入门	205
5.3	Palm 上编程的注意事项	217

5.4 界面的设计与编程	217
5.5 调试	234
5.6 Palm 程序的性能优化	235
5.7 关于 Palm OS 的资源	235
5.8 总结	236
第 6 章 Windows CE	237
6.1 Windows CE 编程基础	237
6.2 例子	245
6.3 Windows CE 编程的一些注意事项	253
6.4 发布 CE 应用程序	255
6.4.1 为 CE 应用程序编写帮助	255
6.4.2 制作 CE 下的安装程序	261
6.5 关于嵌入式 Windows 家族的资源	264
6.6 总结	264
参考文献	265

第 1 章 嵌入式应用简述

1.1 嵌入式应用的历史

可以说嵌入式系统的发展历史相当悠久。早在电子数字计算机出现之前就有了把计算装置嵌入在系统和设备之中的嵌入式系统,那时的计算装置是由一些凸齿轮的机械量和电压电流的模拟量实现的。在 20 世纪 40 年代第一代电子计算机出现后的近 20 年里,这类计算机主要器件由电子管、晶体管、磁心等组成,因体积庞大,从而阻碍了在嵌入式系统中的发展。

计算机用于控制设备或嵌入式系统的历史几乎和电脑自身发展的历史一样长。在通信领域,20 世纪 60 年代晚期,计算机被用于电子电话交换机,称为“存储程序控制”系统。“计算机”这个词在那个时代并不普遍,存储程序指内存装有程序和路由信息。用软件存储控制逻辑,而不是将其固化在硬件中,这在当时观念上是一种真正的突破,在今天看来,这种工作机理早已视为理所当然。为适应每一个应用,这些计算机是被定做出来的(简言之,这些计算机是面向应用的)。按今天的标准来看,它们有着奇特的专用指令和特殊的 I/O 设备,但这已经足以标志着嵌入式应用的诞生。

嵌入式应用的兴起是在 20 世纪 60 年代末集成电路化的第三代计算机时期,由于在军事和空间领域的需求推动,计算机的软硬件技术达到了可以把人送上月球再返回地面的可靠性要求,而且在这一时期计算机技术取得重大发展,例如,并行技术、先行控制、流水线、单总线结构、高速通用寄存器、强有力的中断系统、交叉存取、操作系统等。这些技术同时也应用到嵌入式计算机中来。

而嵌入式应用的真正发展却是在微处理器问世之后。在这个时期,嵌入式计算机的发展是伴随着 PC 的发展而发展的。总的来说,嵌入式计算机工业的发展基本上是跟随通用计算机工业的发展而发展的。

1971 年 11 月,Intel 公司成功地把算术运算器和控制器电路集成在一起,推出了世界上第一片微处理器 Intel 4004,这是嵌入式应用发展最重要的里程碑。其后各厂家推出了许多 8 位或 16 位的微处理器,包括 Intel 的 8080/8085、8086, Motorola 的 6800、68000, Zilog 的 Z80、Z8000 等。以这些微处理器为核心构成的嵌入式计算机系统,已经广泛应用于制造仪器仪表、医疗设备、机器人和家用电器等领域。微处理器的广泛应用形成了一个广阔的嵌入式应用市场,计算机厂家以插件的方式开始向用户大量地提供 OEM 产品,再由用户根据自己的需要选择一套适合自己应用的 CPU 板、存储器板和各式 I/O 插件板构成专用的嵌入式计算机系统,并嵌入到自己的系统设备中。为实现其灵活性和兼容性的特点,已形成了系列化、模块化的单板计算机。流行的单板计算机有 Intel 公司的 iSBC 系列、Zilog 公司的 MCB 等。此时人们开始不必从选择芯片开始来设计一台专用的嵌入式计算机了,只要选择各种不同的功能模块,就可以组建一台

专用计算机系统。用户和厂家都希望从不同的厂家中选购最适合自己的 OEM 产品,插入到外购或者自制的机箱中就可以形成新的系统,即希望插件是相互兼容的;工业控制微机的系统总线从而也因此诞生。1976 年 Intel 推出 Multibus,1983 年扩展到带宽达 40Mb/s 的 Multibus II;1978 年 Prolog 公司(已被 MCG 所收购)设计的简单 STD 总线广泛应用于小型嵌入式系统;1981 年 Motorola 推出 VME 总线。总之,20 世纪 80 年代是各种总线层出不穷、群雄并起的时代。

随着微电子工艺水平的提高,集成电路制造商开始把嵌入式应用所需要的微处理器、I/O 接口、A/D、D/A 转换器、串行接口以及 RAM、ROM 等都通通集成到一个超大规模集成电路(VLSI)中,制造出面向 I/O 设计的微控制器,即我们俗称的单片机。单片机成为嵌入式系统异军突起的一支新秀,而其后发展的 DSP 产品更快地提升了嵌入式系统的技术水平,迅速地渗入到消费电子、医用电子、智能控制、通信电子、仪器仪表、交通运输等各种领域。

嵌入式软件也伴随着硬件技术的发展而发展。最初,编写和测试软件只有简单的编程开发工具。每个项目实际运行的软件通常来自于草稿的修改。由于编译器的缺陷,以及调试工具的不完善,这些软件差不多都是使用汇编语言或者宏语言来编写。采用软件构建模块和标准库的编程思想及方法直到 20 世纪 70 年代中期才流行起来。

商品化的嵌入式操作系统出现在 20 世纪 70 年代后期,它们中许多是用汇编语言编写的,并且仅能用于为其编写的微处理器上。当这些微处理器变得过时的时候,这些 OS 也厄运来临,必须新的处理器上重新写一遍才能运行。今天,许多这类早期的系统已成为模糊的记忆,还有谁能够记得起 MTOS 呢?

当 C 语言出现后,OS 可以用一种高效、稳定、可移植的方式来编写。这种方式对使用和经营有着直接的吸引力,因为当微处理器废弃不用时,它承载着能够保护他们软件投资的希望。用 C 语言编写 OS 已经成为一种标准延续至今。总之,软件的可复用性已经为大家所接受,而且正在发挥着很好作用。

在 20 世纪 80 年代早期,最流行的嵌入式操作系统是 Wendon 操作系统,大约 150 美元就可以买到一个 C 源码库。它是一个开发套件,你可以选择各种组件来构建自己的操作系统,如同在菜单上点菜一样。例如,你可以在库清单上选择任务调度算法和内存管理方案来实现自己的系统。很多商品化的嵌入式操作系统是在 20 世纪 80 年代出现的,这一热潮持续到现在。今天,有很多商品化的嵌入式操作系统可供开发者选择。同时,出现了一些超级“大佬”,如 VxWorks、pSOS、Nucleus、Windows CE、EPOC 和 PalmOS。

其实,许多嵌入式系统根本不能算是操作系统,因为它们只有循环控制。对于一些简单设备这是足够的,不过,随着嵌入式系统在复杂性上的增长,操作系统显得重要起来,否则,这将使控制软件复杂度变得极不合理。可悲的是,现实中确实有一些复杂得令人生畏的嵌入式系统,而且它们之所以变得复杂就是因为它们的设计者坚持认为他们的系统不需要操作系统。

渐渐地,越来越多的嵌入式系统被连接到网络上。因而,在嵌入式系统中需要有网络协议栈的支持,甚至很多宾馆中的门把手都含有一个连接到网络上的微处理器。把网络栈添加到一个仅用循环控制来实现的简单嵌入式系统所带来的复杂程度,足以唤起人们

对一个嵌入式操作系统的渴望。

除了各种商业性嵌入式操作系统以外,还有多种私有操作系统。其中,有些是涂鸦式编写而成的,像 Cisco 公司的 IOS 等;有些则源于对别的操作系统的改写,像很多网络产品的操作系统都衍生于同一版本的伯克利 Unix 系统,这是因为伯克利 Unix 系统具有完整的网络支持能力;还有一些基于公共域的操作系统,例如,KA9Q 就来源于 Phil Kam。

20 世纪 90 年代以来,在分布控制、柔性制造、数字通信和数字家电等巨大商业需求的推动下,嵌入式应用进一步得到了发展。

在硬件方面,尤其是芯片方面的发展表现出三个特点:

- 面向实时信号处理算法的 DSP 向高速、高精度、低功耗方向发展,例如, Texas 推出的第三代 DSP 单片 TMS320C30。

- 32 位微控制器已成为市场主流,并向高速、智能化的方向发展。

- 嵌入式 CPU 的主频越来越高,同时在对多媒体的支持方面发展迅速,例如, Intel 基于 Xscale 微架构和富士通的 FR-V 等都是嵌入式 CPU 中支持多媒体的典范,特别是富士通 FR-V 系列的 CPU 在 MPEG4 解码方面表现卓越,但离真正意义上的批量生产还有一定距离。

在软件方面,嵌入式操作系统出现了进一步的分化,诞生了一些嵌入式操作系统家族。例如, Microsoft 的 Windows NT Embedded、Windows XP Embedded、WinCE.NET、PocketPC 2002 和 Smartphone 2002 等操作系统就是分别针对不同领域、不同应用的操作系统而构成的嵌入式操作系统家族。

同时,跨平台的软件开发技术从通用计算机上延展到嵌入式设备上。例如, KVM、J2ME、Java Card 等等。

随着现代技术的发展,计算机工业逐渐向后 PC 时代发展, PC 工业慢慢地成为制造业的一部分。在后 PC 时代,嵌入式应用将成为计算机应用的主流,同时,嵌入式应用和无线应用的结合使嵌入式应用更具活力。

应该指出,未来几年的嵌入式应用将能更灵活地与大型网络计算平台互动,形成新的应用模式,甚至构架出新的计算体系机构,形成真正的“Anywhere Computing”体系。因此,嵌入式应用和嵌入式软件将成为计算机工业中最具活力的部分。

1.2 嵌入式系统

通常,按照计算机的体系结构、运算速度、结构规模、适用领域,可将其分为超级计算机、大型机、中型机、小型机和微型计算机,并以此来组织学科和产业分工,这种分类沿袭了大约 40 年。传统的计算机分类金字塔如图 1-1 所示。

近 10 年来,随着计算机技术的迅速发展,实际情况发生了根本性的变化。例如, 20 世纪 60 年代末期定义的微型计算机演变出来的个人计算机(Personal Computer),如今已经占据了全球计算机工业中 90% 的市场份额,其计算能力和处理速度也超过了当年的大、中型计算机。随着计算机技术和产品对其他行业的渗透,以应用为中心进行分类的方法变得更为切合实际,即按计算机的应用可分类为嵌入式计算机和通用计算机。

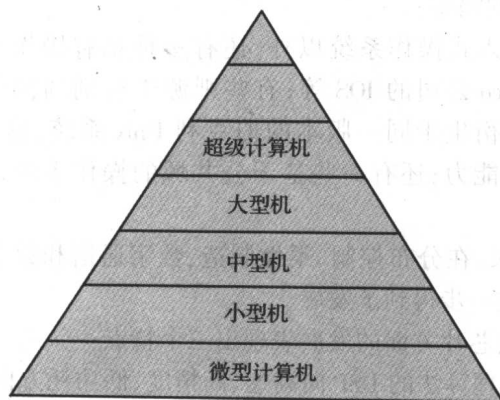


图 1-1 传统的计算机分类

通用计算机具有计算机的标准形态,可以装配不同的应用软件,以雷同面目出现并应用在社会各个方面,其典型产品为 PC;而嵌入式计算机则是以嵌入式系统的形式隐藏在各种装置、产品和系统中。

嵌入式系统被定义为:以应用为中心,以计算机技术为基础,软硬件可裁剪,适合于应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗方面要求严格的专用计算机系统。嵌入式计算机在应用数量上远远超过了其他的通用计算机,一台通用计算机的外部设备中就包含了 5 个~10 个嵌入式微处理器,键盘、鼠标、软驱、硬盘、显示卡、显示器、网卡、调制解调器、声卡、打印机、扫描仪、数码相机、USB 集线器等均是由嵌入式处理器控制的。在工业制造、过程控制、通信、仪器、仪表、汽车、船舶、航空、航天、军事装备、消费类产品等方面均是嵌入式计算机的应用领域。

嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术、电子技术和各个行业的具体应用相结合后的产物,这一特点决定了它必然是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。

美国著名未来学家尼葛洛庞帝在 1999 年 1 月访华时预言,4 年~5 年后嵌入式智能(电脑)工具将是 PC 和因特网之后最伟大的发明。我国著名嵌入式系统专家沈绪榜院士 1998 年 11 月在武汉全国第 11 次微机学术交流会上发表的《计算机的发展与技术》一文中,称未来 10 年以嵌入式芯片为基础的计算机工业将获得极大的发展。

从某种意义上来说,通用计算机行业的技术是垄断的。在占整个计算机行业 90% 的 PC 产业,80% 采用的是 Intel 的 8x86 体系结构,芯片基本上出自 Intel、AMD、VIA(威盛公司收购的 Cyrix 公司)等几家公司。在每台计算机几乎必备的操作系统和文字处理程序方面,Microsoft 凭借操作系统还可以搭配其他应用程序,其 Windows 以及 Word 占据了 80%~90%。因此当代的通用计算机工业基础被认为是由 Wintel(Microsoft 和 Intel 在 20 世纪 90 年代初建立的联盟)垄断的工业。

嵌入式系统则不同,它是一个分散的工业,充满了竞争、机遇与创新,没有哪一个系列的处理器和操作系统能够垄断全部市场。即便在体系结构上存在着主流,但各自不同的应用领域决定了不可能少数公司、少数产品垄断全部市场。因此嵌入式系统领域的产品和技术,必然高度分散,留给各个行业中小规模、高技术的企业创新余地很大。另外,社会

上的各个应用领域在不断向前发展,必然要求嵌入式处理器核心也需同步发展,这也构成了推动嵌入式工业发展的强大动力。

嵌入式系统工业的基础是以应用为中心的“芯片”设计和面向应用的软件产品开发。嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的;如果独立于应用而自行发展则会失去市场。嵌入式处理器的功耗、体积、成本、可靠性、速度、处理能力、电磁兼容性等方面均受到应用要求的制约,这些也是各个半导体厂商之间竞争的热点。与通用计算机不同,嵌入式系统的硬件和软件必须高效率地设计,量体裁衣、去除冗余,力争在同样的硅片面积上实现更高的性能,这样才能在具体应用中对处理器的选择上更具竞争力。嵌入式处理器要针对用户的具体需求,在对芯片配置进行裁剪或添加后达到理想的性能;另外它还受用户订货量的制约。因此不同的处理器面向的用户不同,可能是一般用户,也可能是行业用户或单一用户。

嵌入式系统和具体应用有机地结合在一起,其升级换代也是和具体产品同步进行的,因此嵌入式系统产品一旦进入市场,就具有较长的生命周期。嵌入式系统中的软件,一般都固化在只读存储器中而不以磁盘为载体,可以随意更换,所以嵌入式系统的应用软件生命周期和嵌入式产品一样长。另外,各个行业的应用系统和产品,与通用计算机软件不同,很少发生突然性的跳跃,嵌入式系统中的软件也因此更强调可继承性和技术衔接性,发展比较稳定。

嵌入式处理器的发展也体现出稳定性,一个体系的生命周期一般在8年~10年。嵌入式处理器的体系结构及其相关的片上外设、开发工具、库函数、嵌入式应用产品等是一套复杂的知识系统,用户和半导体厂商一般都不会轻易地放弃某种处理器。

嵌入式处理器的应用软件是实现嵌入式系统功能的关键,对嵌入式处理器系统软件和应用软件的要求也和通用计算机有所不同,其具体体现在如下几个方面。

1) 软件要求固态化存储

为了提高执行速度和系统可靠性,嵌入式系统中的软件一般都固化在存储器芯片或单片机本身中,而不是存储于磁盘等载体中。

2) 软件代码高质量、高可靠性

尽管半导体技术的发展使处理器速度不断提高、片上存储器容量不断增加,但在大多数应用中,存储空间仍然是非常宝贵的,另外还存在实时性的要求。为此对程序编写和编译工具的要求要高,其目的在于减少程序的二进制代码长度,并提高执行的速度。

3) 系统软件(OS)的高实时性是基本要求

在多任务的嵌入式系统中,对重要性各不相同的任务进行统筹兼顾的合理调度是保证每个任务及时执行的关键,单纯通过提高处理器速度是不合理的,这种任务调度需要由优化编写的系统软件来完成,因此系统软件的高实时性是基本要求。

4) 多任务操作系统是知识集成的平台和走向工业化道路的基础

通用计算机具有完善的人机接口界面,在上面增加一些开发的应用程序和环境即可进行对自身的开发。而嵌入式系统本身不具备自举开发能力,即使设计完成以后用户通常也不能对其中的程序功能进行修改的,因为它必须具有一套开发工具和环境才能进行开发,这些工具和环境一般是基于通用计算机上的软硬件设备以及各种逻辑分析仪、混合信号示波器等。

通用计算机具有完善的操作系统和应用程序接口(Application Program Interface, 简称 API), 是计算机基本的组成部分, 应用程序的开发以及完成后的软件都在 OS 平台上运行, 但一般不具有实时性。嵌入式系统则不同, 应用程序可以没有操作系统直接在芯片上运行, 但为了合理地调度多任务和利用系统资源, 系统必须采用 RTOS 开发平台, 这样才能保证程序执行的实时性和可靠性, 并减少开发时间, 保障软件质量。

通用计算机的开发人员一般是计算机科学或计算机工程方面的专业人士, 而嵌入式系统则是和各个不同行业的应用相结合的, 要求更多的计算机以外的专业知识, 其开发人员往往是各个应用领域的专家。因此开发工具的基本要求是易学、易用、可靠、高效。

中国单片机应用和嵌入式系统开发走过了 15 年的历程, 有超过 10 万名从事单片机开发应用的工程师, 但 95% 以上是 3 人 ~ 5 人的小组孤军奋战, 以封闭的方式开发几乎不可移植的软件。今天面对嵌入式系统工业化的潮流, 如果我们不能认清嵌入式软件必须以工业化的方式进行生产开发, 不理解在短时间内装配集成嵌入式产品软件库并将其固化于芯片之中的方法, 那么我们将会失去更多“上游”产品的市场; 反之, 在我国大力推动和建设“嵌入式软件工厂”, 使我国的嵌入式软件库(零件)产品化并融入国际市场, 对加速知识创新和建立面向 21 世纪的知识经济具有战略意义。

1.3 嵌入式处理器

嵌入式系统的核心部件是各种类型的嵌入式处理器, 目前据不完全统计, 全世界嵌入式处理器的品种数量已经超过 1000 多种, 流行的体系结构已达 30 几种系列, 其中 8051 体系占有一多半。生产 8051 单片机的半导体厂家有 20 多个, 共 350 多种衍生产品, 仅 Philips 就有近 100 种。现在几乎每个半导体制造商都生产嵌入式处理器, 越来越多的公司有自己的嵌入式处理器设计部门。嵌入式处理器的寻址空间一般从 64KB 到 16MB, 处理速度从 0.1MIPS 到 2000MIPS, 常用封装在 8 引脚到 144 引脚之间。根据其现状, 嵌入式计算机可以分成下面几类。

1.3.1 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器(Embedded Microprocessor Unit, EMPU)的核心是通用计算机中的 CPU。在应用中, 将微处理器装配在专门设计的电路板上, 只保留和嵌入式应用有关的母板功能, 这样可以大幅度地减小系统体积和功耗。为了满足嵌入式应用的特殊要求, 嵌入式微处理器虽然在功能上和标准微处理器基本上一样, 但在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面一般都做了各种增强。

和工业控制计算机相比, 嵌入式微处理器具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高的优点, 但是在电路板上必须包含 ROM、RAM、总线接口、各种外设等器件, 从而降低了系统的可靠性, 并且技术保密性也较差。嵌入式微处理器及其存储器、总线、外设等装配在一块电路板上称为单板计算机, 如 STD-BUS、PC104 等。近年来, 德国和日本的一些公司又开发出了类似“火柴盒”式名片大小的嵌入式计算机系列 OEM 产品。

嵌入式处理器目前主要有 Am186/88、386EX、SC - 400、PowerPC、68000、MIPS、ARM 系列等。