



英特尔® 软件学院系列课程

基于英特尔® 凌动™ 平台的 嵌入式应用开发

Embedded Application Development
Based on Intel® Atom™ Platform

英特尔® 亚太研发有限公司 组编

英特尔® 软件学院教材编写组 编
谷红亮 谢伟凯 方亮 杨青



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

策划：英特尔® 软件学院中国区经理 郎朗



基于英特尔®凌动™平台的 嵌入式应用开发

英特尔®软件学院教材编写组 编

编写组名单 谷红亮 谢伟凯
方亮 杨青

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书介绍了完整的嵌入式系统知识,重点讲述了具体架构的应用开发。理论联系实际,突出实践特色。知识结构全面、完整,又力求突出英特尔特色。此外,本书还包括了 ARM、MIPS 等常用嵌入式架构的相关内容。

本书既可作为嵌入式系统工程师的参考书,亦可作为大中专院校计算机相关专业的教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

基于英特尔® 凌动™平台的嵌入式应用开发/英特尔®软件学院教材编写组编. —上海:上海交通大学出版社, 2011

英特尔®软件学院系列课程
ISBN 978-7-313-07045-6

I. ①基… II. ①英… III. ①微型计算机—系统设计—技术培训—教材 IV. ①TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 001882 号

基于英特尔® 凌动™平台的嵌入式应用开发

英特尔®软件学院教材编写组 编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 韩建民

上海交大印务有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787 mm×960 mm 1/16 印张: 17.75 字数: 323 千字

2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

印数: 1~5 030

ISBN 978-7-313-07045-6/TP 定价: 49.50 元

版权所有 侵权必究

进入 21 世纪,信息技术和信息产业在全球范围内迅猛发展的势头更为强劲,如何尽快适应新技术和新应用带来的挑战,及时更新员工知识结构,并动态调整企业人才培养战略,已经成为广大科技公司迫切需要解决的问题之一。对于高等教育、职业教育等专业组织机构来说,则面临着紧跟企业前进步伐,准确接轨社会发展趋势,瞄准世界科技前沿水平,不断进行教育教学创新,提高学生实践能力,开拓学生知识视野的现实需求。在中国,尽管近年来已经在科技人才培养方面取得了长足的进步,但是就整体现状而言,尤其在知识更新和技术创新方面,距离完全满足社会的需求还存在着较大的发展空间。

英特尔公司历来关注技术的发展创新和科技人才的培养。英特尔® 软件学院隶属于英特尔软件与服务事业部,作为英特尔公司专业的对外培训机构,为全球的软件开发人员提供了丰富的前沿技术培训课程。多年来,英特尔® 软件学院一直致力于培训软件开发人员,与中国的软件开发人员共同发展,帮助其掌握和应用英特尔的 latest 技术及经验,提高软件开发技术水平,提升产品开发技能。目前,英特尔® 软件学院在中国已经发展成为面向软件开发、项目管理及商业运营方向的优秀一站式培训服务基地。依托英特尔公司强大的师资力量,沿袭英特尔用户需求至上的传统,英特尔® 软件学院已经与国内多家知名公司、大学和教育机构建立了长期稳定的合



作关系,迄今已有数万名工程师和大学教师参与了英特尔®软件学院的技术培训,并学以致用。

《英特尔®软件学院系列课程》由英特尔®软件学院牵头,联合国内的顶级高等学府合作编写。相信这本教材作为英特尔®软件学院的重点课程之一,在科技人才培养和知识创新方面必将发挥重要的作用。

英特尔亚太研发有限公司总经理

英特尔公司软件与服务事业部中国区总经理

梁兆柱博士

开发理论知识力求全面,不囿于英特尔公司产品,例如讲解处理器不仅会说明英特尔® 凌动™处理器,还会简略介绍包括 ARM、MIPS 等当前常用嵌入式架构在内的处理器,讲解开发工具链时不仅重点说明英特尔系列工具,还会介绍 GNU 等常用嵌入式开发工具链,但实践和例子部分又突出使用英特尔系统产品,包括处理器、平台到开发工具等。

本书共分 9 章,具体内容如下:

第 1 章 嵌入式应用开发概述,主要介绍嵌入式系统的概念、结构等基本情况,目的是建立起对嵌入式系统整体的认识,为嵌入式应用开发打下理论基础。

第 2 章 英特尔嵌入式硬件平台,着重介绍英特尔嵌入式系统的各个硬件平台,包括英特尔® 凌动™处理器的特点、嵌入式芯片组以及常用应用参考平台等,为后续的应用开发铺就奠基石。

第 3 章 英特尔嵌入式应用开发流程和工具链,在介绍嵌入式系统开发的通用流程的基础上,重点介绍典型的开发工具链——GNU 工具链,最后讲解英特尔的嵌入式应用开发工具链。

第 4 章 Moblin/MeeGo 系列操作系统,对英特尔® 凌动™处理器推荐使用的操作系统平台 Moblin 及其后续发展平台 MeeGo 进行详细的介绍。

第 5 章 Moblin 的定制,首先介绍嵌入式操作系统定制的通用知识,



然后再重点说明 Moblin 的定制。

第 6 章 Moblin 上的嵌入式 GUI, 首先介绍嵌入式应用交互模态的特点, 然后介绍嵌入式系统的用户界面和用户体验设计的知识, 再介绍一下 Moblin 的图形用户界面开发工具 Clutter 以及在网上本(Netbook)平台上的相应开发包, 最后介绍一下如何利用适合的 Moblin 工具来开发应用。

第 7 章 嵌入式应用的性能优化, 首先介绍嵌入式性能优化的通用基础知识, 然后介绍具体的嵌入式系统——基于英特尔®凌动™处理器的系统——上常用的性能优化工具和方法。

第 8 章 嵌入式应用的低功耗设计, 首先对低功耗设计进行了概述性的介绍, 然后重点介绍 Moblin 的功耗控制机制, 最后讨论应用程序设计中如何实现低功耗的目标。

第 9 章 嵌入式应用开发实例, 介绍 Moblin 上的几个综合应用例子, 如图片浏览器、在线地图显示器(一种基于位置的服务)、照相与摄像应用等, 通过这些例子的学习, 我们将可以对前面讲述的关于英特尔®凌动™处理器和 Moblin 软件开发的知識有一个更深入的了解和掌握。

本书使用的例子和环境说明:

本书的例子几乎都基于英特尔®凌动™处理器架构, 采用 Moblin/MeeGo 平台, 在网上本上测试通过。开发用的宿主机也是 x86 架构 PC, 操

作系统为 Ubuntu Linux。编译器可以采用命令行,也可以采用 IDE(集成开发环境)。命令行编译时采用 GNU 和英特尔工具链中的命令行软件;而 IDE 可以采用 Eclipse 和 Anjuta,其中本书的例子 IDE 开发时采用的是 Anjuta。

本书的一些书写约定:

字 体	含 义	示 例
宋体	本书正文	由于资源受限的特点
灰色底纹字体	表示 Linux 或 Moblin 中运行的命令,其中前导字符#或\$不属于命令	<code># gcc -c main.c</code>
带边框字体	表示程序代码或文本文件内容	<code>#include <gtk/gtk.h></code>
带边框灰色底纹字体	表示程序代码或文本文件内容中特殊标记的文字,一般正文部分会对此文字进行说明	<code>clutter_actor_set_depth (label, -20)</code>

本书可以作为嵌入式系统工程师的参考书,也可作为大中专院校计算机相关专业的教学参考用书。

由于时间仓促,作者水平有限,书中的缺点和不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

教材编写组
2010 年 12 月

目 录

第 1 章 嵌入式应用开发概述	1
1.1 嵌入式系统	1
1.2 嵌入式系统的典型结构	11
1.3 嵌入式应用开发的特殊困难	20
第 2 章 英特尔嵌入式硬件平台	23
2.1 英特尔® 凌动™ 处理器	23
2.2 英特尔嵌入式芯片组	29
2.3 英特尔嵌入式系统参考平台	32
第 3 章 英特尔嵌入式应用开发流程和工具链	41
3.1 嵌入式应用开发流程	41
3.2 典型的开发工具链	56
3.3 英特尔的嵌入式应用开发工具链	89
第 4 章 Moblin/MeeGo 系列操作系统	99
4.1 Moblin 的概念及体系结构	99
4.2 MeeGo 简介	105
4.3 Moblin 主要子系统介绍	107
4.4 MeeGo 的体系结构	115
4.5 Moblin/MeeGo 专用开发工具	119



第5章 Moblin 的定制	120
5.1 嵌入式操作系统裁剪与定制	120
5.2 Kernel 的定制	121
5.3 映像的定制	125
5.4 启动过程的加速	145
第6章 Moblin 上的嵌入式 GUI	148
6.1 嵌入式应用交互模态的特点	148
6.2 嵌入式系统的 UI 和 UE	152
6.3 Moblin 图形用户界面	162
6.4 Clutter GUI 下的应用开发	165
第7章 嵌入式应用的性能优化	179
7.1 性能优化概述	179
7.2 利用英特尔® VTune 进行代码性能 Profiling	192
7.3 利用英特尔® IPP 实现关键算法逻辑的加速	205
7.4 利用英特尔® 编译工具进行编译优化	212
7.5 汇编级指令优化	219
第8章 嵌入式应用的低功耗设计	227
8.1 低功耗设计概述	227
8.2 Moblin 中的功耗控制机制	235
8.3 应用程序设计中的低功耗考虑	238
第9章 嵌入式应用开发实例	243
9.1 实例 1——图片浏览器	243
9.2 实例 2——在线地图显示器	255
9.3 实例 3——Camrecorder	260

第 1 章 嵌入式应用开发概述

嵌入式系统(Embedded System)是一个新兴的名词,它融合了计算机技术、半导体技术和微电子技术等多种技术,它也是当今最为热门的领域之一。在后 PC 时代,随着计算机和通信技术的飞速发展,互联网的迅速普及和 3C 融合加速,嵌入式技术得到了飞速发展和广泛应用。它通过在各个行业的具体应用渗透到社会生活的各个角落。从日常用品到工业生产、军事国防、医疗卫生、科学教育乃至商业服务等方方面面,从小到个人身上的手机、MP3、PDA,大到汽车、飞机、导弹。嵌入式系统的身影已经无处不在。

本章主要介绍嵌入式系统的概念、结构等基本情况,目的是建立起对嵌入式系统整体的认识,为嵌入式应用开发打下理论基础。

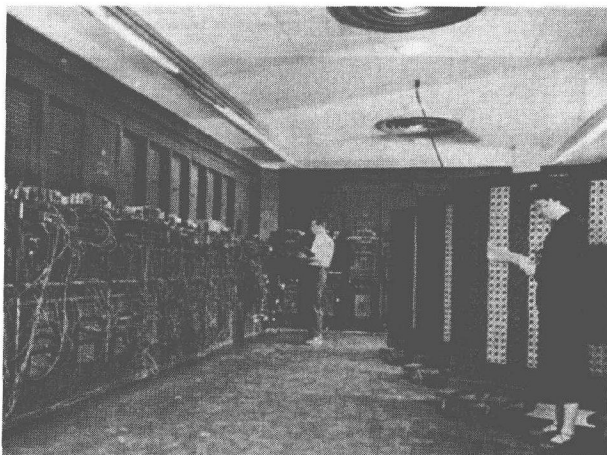
1.1 嵌入式系统

1.1.1 漫谈嵌入式系统

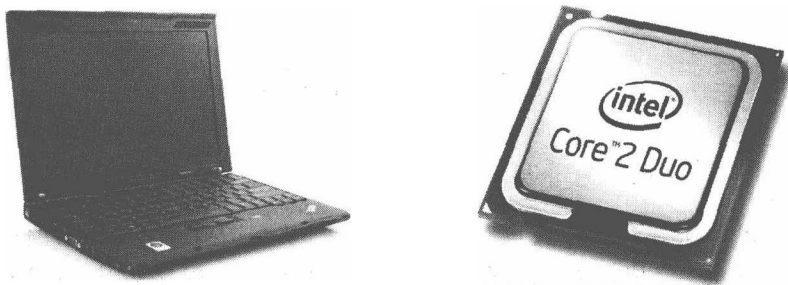
自 1946 年第一台计算机 ENIAC 诞生以来,从制造技术上来说,计算机经历了电子管、晶体管、集成电路、大规模集成电路和超大规模集成电路(Very Large Scale Integration, VLSI)等阶段,使得计算机系统的体积越来越小,计算能力越来越大,功耗越来越低,单位计算能力的价格也越来越便宜。

ENIAC 在美国宾夕法尼亚大学诞生时,可以说是一个庞然大物,如图 1-1(a)所示。它由 18 000 个电子管、1 500 多个继电器和其他配件构成,占地 170 平方米,重达 30 吨,耗电 150 kW,此外还需另配一台 30 吨重的冷却设备,而其计算机能力仅为每秒钟运行 5 000 次加法。而 2008 年生产的一款 Lenovo Thinkpad X200 笔记本电脑如图 1-1(b)所示,重量仅为 1.32 kg,大小缩减到 318 mm×231 mm×18.6 mm,最大耗电量 65 W。其采用的中央处理器(Central Processing Unit,

CPU)集成了 274 兆(即 274×10^6)个晶体管,最高功耗 25 W,每秒钟大约可执行 4~5 万兆条指令(即 40 000~50 000 MIPS, Million Instructions Per Second)。计算机系统的这种体积、计算能力、功耗、单位计算能力的发展趋势为计算机嵌入到其他设备中提供了一种可能。



(a) 世界上第一台计算机ENIAC(1946年)



(b) Lenovo Thinkpad X200 笔记本电脑及其使用的CPU(2008年)

图 1-1 两种不同时代的计算机对比

计算机的发展不仅仅是制造技术的发展,其形式和工作角色也发生了变化。ENIAC 诞生及其后的一段时间,由于计算能力的有限和信息资源的局限,计算机仅仅被用于军事和科学数值计算。人们对计算机的认识也不过是昂贵、奇妙、神秘甚至有点恐怖气息的巨大黑盒子。这种巨大的黑盒子分为大型机和小型机,它们代表了计算机时代的初级阶段。

20 世纪 70 年代,随着微处理器的出现,计算机发展出现了革命性变化。以微处理器为核心的微型计算机、个人电脑(Personal Computer, PC)将信息产业推向了一个新的阶段。廉价且实用的 PC 机让每个家庭的桌子上都有一台电脑的梦想变为现实。在这个阶段,计算机以能满足各种需求的通用形式出现,通俗地说,就是一机多用,通用于各种需求,如计算、娱乐、信息共享、办公自动化等。这种计算机硬件也大同小异,只是根据不同的应用需求,安装的软件有所区别。计算机形式也相似,主机、显示器、控制台等形成了这种通用目的计算机系统的标准部件。

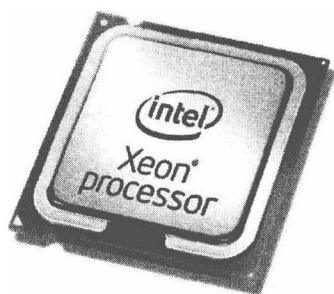
另一方面,在微型计算机迅速普及的同时,微机的智能化、自动化的特性也开始逐渐得到了应用,人们越来越多地将微型计算机嵌入到特定的环境体系中,实现对环境体系的智能化控制。例如,把微型计算机应用到工厂的机床控制中,通过微机向机床发送简单的控制信号实现对机床的控制,同时,通过配置的外围传感仪器,来监控机床的工作状态。把微型计算机嵌入到特定的环境体系中,作为控制与管理这些环境体系的计算机系统,成为嵌入式系统的雏形。

随着技术的发展,各种行业的特殊需求越来越多,与之相对应,被开发出来的专用的计算机系统也越来越多。因此,嵌入到特定环境体系中的专用计算机系统与通用计算机系统的发展方向和目标逐渐分离开来。通用计算机系统的技术要求是高速、海量的各种计算,技术发展方向是计算速度的提升、存储容量的扩大;而嵌入式计算机系统的技术要求则是对对象的智能化控制能力,技术发展的方向是与对象系统密切相关的嵌入性能、控制能力与控制的可靠性。

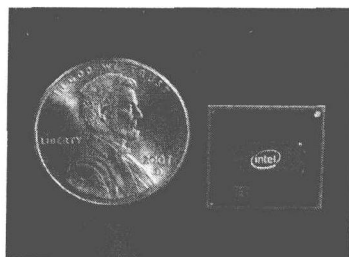
基于应用的驱使,必须独立地发展通用计算机系统与嵌入式计算机系统,形成了现代计算机技术发展的两个分支。如果说微型机的出现使计算机进入了现代计算机发展阶段,那么嵌入式专用计算系统的诞生,则标志了计算机进入了通用计算机系统与嵌入式计算机系统两大分支并行发展时代。

通用计算机系统与嵌入式计算系统的专业化分工发展,导致了 20 世纪末 21 世纪初期计算机技术的飞速发展。通用计算机专业领域专注于发展通用计算机系统的软、硬件技术,而不必分心于嵌入式应用需求。通用微处理器从 286、386、486 到奔腾系列,并逐渐向多核技术迈进。通用操作系统则迅速扩张机器的高速、海量的数据处理能力,使得计算机系统进化到尽善尽美的阶段。

嵌入式计算系统则走上了一条完全不同的道路,强调单芯片化的特色,承担起发展与普及嵌入式系统的任务,迅速将传统的电子系统发展到智能化的现代电子系统时代。图 1-2 为通用计算机与嵌入式计算机芯片的比较,其中图 1-2(a)是通用计算机的芯片英特尔® Xeon L5530,大小为 45 mm×42.5 mm,平均功耗



(a) Intel® Xeon L5530



(b) Intel® Atom™ Z540

图 1-2 通用计算机与嵌入式计算机芯片比较

60 W;图 1-2(b)是嵌入式系统上用的芯片英特尔®凌动™Z540,大小为13 mm×14 mm,平均功耗 160~220 mW。

通用计算机系统与嵌入式计算机系统这两大分支形成了现代计算机技术里程碑,它不仅形成了计算机发展的专业化分工,而且将发展计算机技术的任务扩展到传统的电子系统领域,使计算机成为进入人类社会全面智能化时代的有力工具。通用计算机与嵌入式系统的对比如表 1-1 所示。

表 1-1 通用计算机与嵌入式系统的对比

项 目	通用 计 算 机 系 统	嵌 入 式 系 统
硬件	硬件上的高处理性能,大容量存储介质	硬件上的多样性,单芯片解决方案
软件	软件上的庞大而日益完善的操作系统	软件上精简、可靠、实时的系统
开发	开发团队上的高速专业化	开发领域的广泛化

时至今日,嵌入式系统已经深入到人们生活的方方面面。可以毫不夸张地说,嵌入式系统正在飞速改变着人们的生活方式。下面我们分领域来看看嵌入式系统的例子:

1.1.1.1 移动电话(图 1-3)

以手机为代表的移动设备可谓是近年来发展最为迅猛的嵌入式行业。甚至针对手机软件开发,近几年还衍生出了“泛嵌入式开发”和“移动开发”这样的新词汇。一方面,手机在社会上得到了大规模普及;另一方面,手机本身的功能

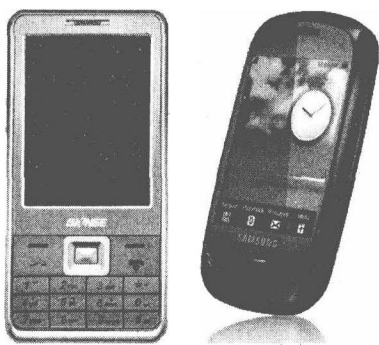


图 1-3 移动电话

也得到了飞速发展,功能越来越强大,价格越来越实惠,应用也愈加丰富,除了最基本的通话功能外,逐渐包括目前的 PDA、数码相机、游戏机等功能。随着 3G 时代的到来,可以预料到手机领域的软硬件都必将经历一场大的变革。

1.1.1.2 消费电子产品与信息家电

消费电子产品(Consumer Electronic)与信息家电,也是嵌入式系统的一大应用领域。消费电子产品主要包括个人移动设备、家庭/娱乐/视听产品等几类。消费电子产品例子如图 1-4 所示。

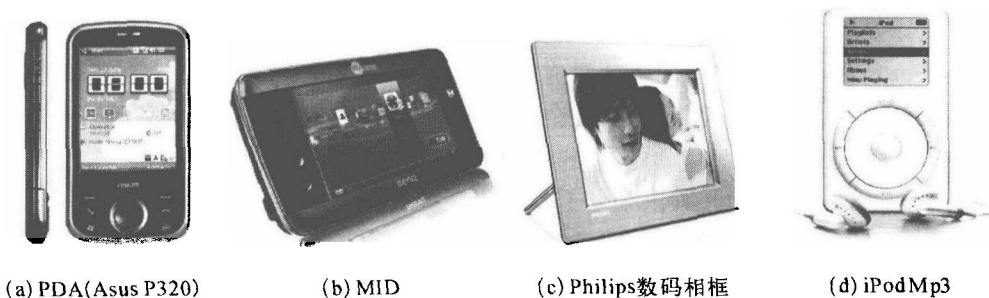


图 1-4 消费类电子产品

个人移动设备主要有智能型手持装置,如 PDA、PALM 等,以及无线上网设备,如移动互联网设备(Mobile Internet Device, MID)等。理论上说,智能手机(当前移动电话的主流产品)也属于无线上网设备,但是由于其所占应用比例较大,所以我们在前面将其单列出来了。

家庭/娱乐/视听产品主要有:网络电视,如交互电视等;数字式影像设备,如数码相机、数码相框、视频播放器等;数字音像设备,如 MP3、便携式音频播放器等;电子娱乐设备,如掌上游戏机、PS2 游戏机等多种形式。

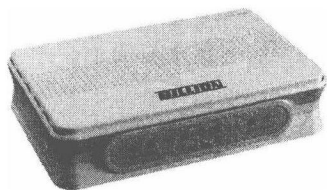
对于消费类电子产品,真正体现嵌入式特点是在系统设计上考虑性价比的折中,如何设计出让消费者觉得划算的产品。

1.1.1.3 网络与通信设备

网络与通信设备主要有嵌入式服务器和精简型计算机、简易网络交换设备、网络可视电话等产品。其应用例子如图 1-5 所示。

1.1.1.4 汽车电子

随着汽车产业的飞速发展,汽车电子也得到了长足的发展。汽车电子主要有各种车载信息娱乐系统(Infotainment),以及各种与汽车机械结合的嵌入式系统,以实现汽车故障诊断与定位。英文 Infotainment 这个词是由信息(information)和



(a) ADSL 路由器

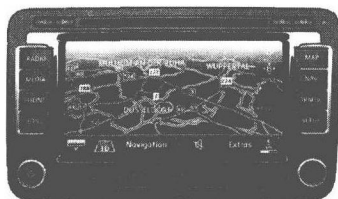


(b) 网络可视电话

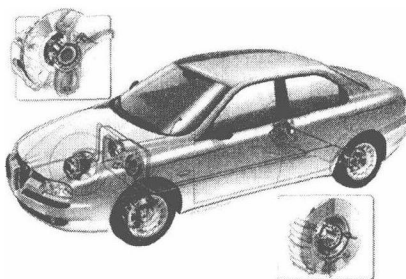
图 1-5 网络与通信设备

娱乐(entertainment)两个词组合而成的,其意义也兼有两者的含义。一个车载信息娱乐系统几乎能给汽车车主提供全部的数字应用,包括车辆内部的各种连接、导航和基于位置的服务,与外部通信和各种无线广播(如收音机和电视)等。

图 1-6 是常见的几种汽车电子嵌入式系统,图 1-6(a)是德国大众 RNS 510 车载信息娱乐系统,它能提供 3D 地图导航,支持 MP3、WMA、DVD 等各种格式的多媒体播放娱乐,拥有 30 GB 海量存储。图 1-6(b)是防抱死制动系统(Anti-lock Braking Systems, ABS)。



(a) 车载信息娱乐系统



(b) 防抱死制动系统(ABS)

图 1-6 汽车电子中的嵌入式系统

1.1.1.5 工业控制

工业控制是嵌入式系统发展的最早推动者。自从 20 世纪中叶数控技术创建以来,它给机械制造也带来了革命性的变化。计算机技术与工程技术相结合是现代科技发展的一个重要方面,也是嵌入式系统应用的一个重要领域。

以上几个是嵌入式应用的主要领域,占整个嵌入式应用的 70%左右,其中消费电子产品(包括移动电话)与信息家电、网络与通信设备、工业控制可以说是嵌入式系统应用的三巨头。

1.1.1.6 军工航天

嵌入式系统的许多最先进的技术和最前沿的成果往往都会在军工航天领域率先应用。NASA 的火星探路者(Mars Pathfinder, MPF)就是军工航天领域嵌入式系统的典型应用,它负责在火星表面探测火星的地貌等情况,如图 1-7 所示。



图 1-7 火星探路者

1.1.1.7 机器人

在科幻小说或者电影中,大家对机器人并不陌生,它们上天入地无所不能。但是在现实世界中,机器人从严格意义上说,也可以算是一种嵌入式设备。机器人综合了多学科的发展成果,代表了高技术的发展前沿,它在人类生活应用领域的不断扩大引起了人们的广泛关注。机器人不但在生产中引人注目,就连儿童玩具也不乏嵌入式系统机器人的身影。图 1-8 是乐高(Lego)公司开发的 NXT 机器人玩具套件,它拥有一个 32 位的 ARM 7 处理器,256 KB 内置 Flash 和 64 KB 内存,拥有光敏、压敏和超声波等多种传感器,并配置了蓝牙与其他通信设备。

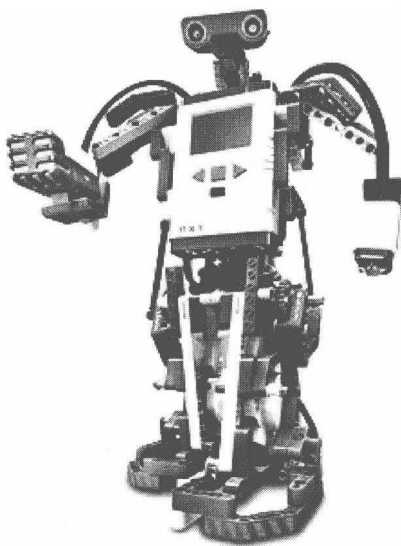


图 1-8 乐高 NXT 机器人