



10年口碑积累，成功培养50000多名研发工程师，铸就专业品牌形象

华清远见的企业理念是不仅要良心教育、做专业教育，更要做受人尊敬的职业教育。

《嵌入式 Linux 基础教程》

作者：华清远见

专业始于专注 卓识源于远见

第 3 章 处理器基础

本章目标

本章将介绍一些基础知识，这些知识将使你能够在嵌入式处理器的浩瀚海洋中自由航行。我们也将介绍一些在市场上常见的处理器及其基本特性。首先重点介绍单机处理器，这些处理器是功能最强大的处理器，它们需要额外的芯片组来构成完整的嵌入式系统；然后介绍一些集成化处理器，集成化处理器类型繁多，这里介绍那些能够在嵌入式 Linux 操作系统下应用的处理器，最后介绍一些现在较为常见的硬件平台。

仅从表面上看，可供嵌入式系统设计开发选择的嵌入式处理器类型多达数十种。本章要介绍那些具有内存管理单元 (MMU) 硬件，并且支持 Linux 操作系统的处理器产品。Linux 操作系统的一个基本体系结构，就是它是具有虚拟内存管理操作的操作系统¹，在不具备内存管理单元的处理器上应用 Linux 操作系统将不得不舍弃一些有用的操作系统内核的体系结构特性，这超出了本书的讨论范围。

1、单机处理器 2、集成化处理器：片上系统 3、硬件平台 4、小结

3.1 单机处理器

所谓单机处理器是指那些专门用于处理功能的处理器芯片，相对于后面介绍的集成化处理器，单机处理器需要一些外围电路支持才能够实现其基本功能。大多数情况下，这就意味着需要围绕在处理器周边的芯片组或者自定义逻辑电路，来完成诸如 DRAM 控制、系统总线寻址配置、外围设备（例如键盘控制器、串行端口）控制等功能。单机处理器通常可以提供最高的综合 CPU 性能。

目前的处理器有 32 位处理器和 64 位处理器²，这两类处理器在嵌入式系统中广泛使用，例如 IBM PowerPC 970FX、Intel Pentium M、Freescale MPC74xx 主机处理器等。

本节将介绍几种由主流制造商生产的单机处理器，这些处理器能够非常好地支持 Linux 操作系统，并已经在很多嵌入式系统设计中采用。

3.1.1 IBM 970FX

IBM 970FX 处理器核是一个具有 64 位处理能力的高性能单机处理器芯片。它采用超标量体系结构，也就是说该处理器核能够同时处理多条指令，完成指令的取指、发生以及获取结果。这是通过流水线 (pipelining) 体系结构实现的，它能够同时提供多条指令流，用于完成高效率的处理计算。IBM 970FX 处理器最多可以包含 25 级流水线，这取决于各类指令流以及其中包含的操作。

下面列出了 IBM 970FX 处理器的一些关键特性：

- 基于流行的 PowerPC 体系结构的 64 位处理器；
- 深度流水线设计，针对极高计算性能的应用；
- 静态和动态电源管理特性；
- 多重休眠模式，以获得最小化供电需求和最大化电池寿命；
- 动态可调节时钟主频，支持低功耗模式；
- 针对高性能、低延迟存储管理进行优化。

IBM 970FX 处理器已经被用于高端刀片服务器以及高性能计算平台中，包括 IBM 公司自己推出的刀片服务器平台。

3.1.2 Intel Pentium M

作为目前最流行的计算机体系结构，x86 体系结构具有 32 位处理器和 64 位处理器（通常称作 IA32 和 IA64），在大量嵌入式系统应用中都能找到这两种处理器。大多数情况下，这些系统解决方案的硬件平台基于不同的 COTS (commercial off-the-shelf, 商业现货) 硬件实现，众多产品制造商能够提供 x86 单板计算机，以及不同形式的完整平台。3.2 节将讨论一些现在广泛使用的平台。

Intel Pentium M 处理器最为活跃的市场是当前的笔记本电脑市场，并已经在嵌入式产品中占有一席之地。与 IBM 970FX 处理器类似，Pentium M 处理器也是超标量体系结构，这些特性对于嵌入式系统应用同样具有吸引力：

¹ Linux 对那些没有 MMU 的处理器也提供了支持，但这并不是 Linux 的主流。

² 这里的 32 位或者 64 位是指处理器内部主要设备的数据宽度，例如指令执行单元、寄存器、地址总线等。

- Pentium M处理器基于流行的x86体系结构，因此得到大量软硬件厂商的支持；
- 与普通的x86处理器相比，Pentium M 处理器功耗较低；
- 先进的电源管理特性能够支持低功耗工作模式，支持多重休眠模式；
- 动态调节时钟速度提高了电池供电的操作能力，例如待机；
- 根据芯片上的温度监控系统自动调节处理器进入低功耗模式，以降低功耗，防止过热；
- 多种主频和电压应用模式（可以动态选择）能够使便携设备的电池寿命最大化。

这些特性对于嵌入式系统开发非常有用，嵌入式系统常常考虑移动性需求或者电源功耗需求。正是由于 Pentium M 处理器具有良好的电源管理和温度管理特性，所以该处理器才会在这种应用中如此热门。

3.1.3 Freescale MPC7448

Freescale MPC7448 处理器通常被看作是第四代 PowerPC 处理器核，一般称为 G4 处理器³。它是一种高性能 32 位处理器，在网络设备或者电信应用中比较常见。有几家制造商设计生产了符合工业标准平台规范的刀片产品，这些产品有些采用了此类处理器，有些则采用了类似的单机 Freescale 处理器。3.3 节将介绍这几种常见的硬件平台。

MPC7448 处理器在信号处理和连网应用等领域非常流行，因为它具有如下先进特性：

- 操作时钟速率可达到1.5 GHz；
- 具有1 MB的二级高速缓存；
- 具有高性能电源管理特性，支持多重休眠技术；
- 具有高级AltiVec向量执行单元；
- 可调节电压，降低功耗需求。

MPC7448 处理器包含了 Freescale 公司的一项专利技术——AltiVec，能够实现快速算术计算以及其他数据处理计算应用。AltiVec 单元包含了 32 个 128 位文件寄存器，AltiVec 文件寄存器中的每个值可以看作是一个具有多个元素的向量。AltiVec 寄存器定义了一组指令用于有效操纵这个向量数据，同时进行核心 CPU 指令操作。AltiVec 操作包括求和-交叉计算、乘-求和计算、同步数据分布（存储）操作、数据收集（加载）操作等。

程序员可以利用 AltiVec 硬件加快信号处理或者网络设备中常出现的软件计算速度，例如实现快速傅里叶变换（FFT）、数字信号处理（如滤波）、MPEG 视频编解码、快速生成加密协议（DES、MD5 和 SHA1）等。

Freescale 公司还开发了一系列单机处理器，例如 MPC7410、MPC7445、MPC7447、MPC745x 以及 MPC7xx 系列产品等。

3.1.4 配套芯片组

前面介绍的几种单机处理器在真正的使用中都需要通过支撑电路连接和启用外围设备，这些外围设备包括系统主存（DRAM）、ROM 或者闪存、系统总线（如 PCI 总线）以及其他外设，如键盘控制器、串口和 IDE 设备接口等。这些处理器外围支撑电路通常称为芯片组（chipset），而且往往需要针对一系列处理器进行专门设计。

例如，Pentium M 处理器需要型号为 855GM 的芯片组来支持。855GM 芯片组是系统内存、图形设备与处理器之间的主要接口。855GM 芯片组已优化为 Pentium M 处理器的配套芯片组。图 3-1 说明了处理器与芯片组之间的关系。

请注意描述这些芯片组时常用的一些术语。Intel 855GM 芯片组就是一个常被称为北桥（northbridge）芯片的示例，因为它可以直接连接到处理器的高速前端总线（FSB）。另一个用来连接各类 I/O 以及 PCI 总线的配套芯片称为南桥（southbridge）芯片。所谓南北只不过是因图中两组芯片的相对位置而形成的约定俗成的叫法。这种硬件体系结构中的南桥芯片实际上是一个 I/O 控制器，负责提供 I/O 接口，包含了以太网、USB、IDE、音频芯片、键盘以及鼠标控制器等，如图 3-1 所示。

³ Freescale公司现在将G4处理器核称为e600处理器核。

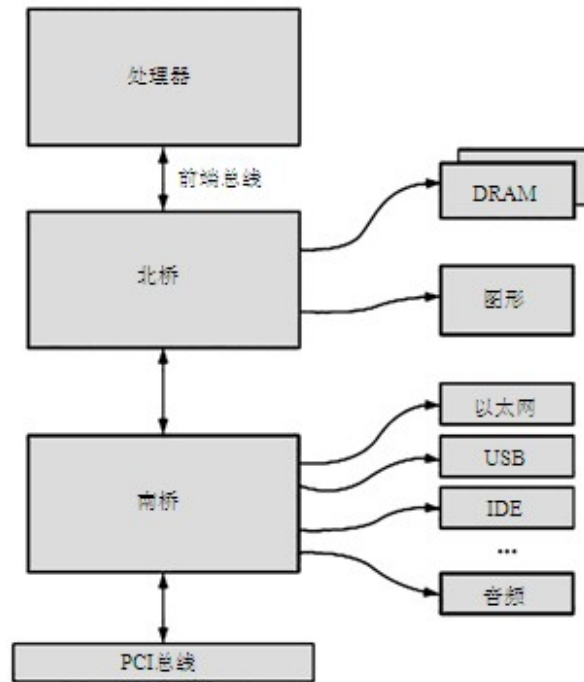


图 3-1 处理器与芯片组之间的关系

在 PowerPC 类型的处理器中，型号为 Tundra Tsi110 的主机桥接芯片是支持单机 PowerPC 处理器的典型芯片组。Tsi110 芯片组支持单机 PowerPC 处理器的几种不同类型的接口，它同时可以支持 Freescale MPC 74xx 系列和 IBM PPC 750xx 系列处理器。这些处理器使用 Tundra 芯片可以提供到以下外围设备的接口：

- DDR DRAM，集成化内存控制器；
- 以太网（Tundra 芯片组提供 4 个千兆以太网接口）；
- PCI Express 总线（支持两个 PCI-E 接口）；
- PCI/X（PCI2.3、PCI-X 以及 Compact PCI [cPCI]）；
- 串口；
- I2C；
- 可编程中断控制器；
- 并口。

有很多芯片组制造商，如威盛科技、Marvell、Tundra、nVidia、Intel 等。Marvell 和 Tundra 生产的芯片组主要用于 PowerPC，其他芯片组则主要用于 Intel 体系结构。基于 Intel x86、IBM 或者 Freescale PowerPC 等单机处理器的硬件设计都需要使用配套的芯片组，实现与系统设备之间的接口。

Linux 用作嵌入式操作系统的一大优势，是 Linux 能迅速支持新的芯片组。当前，Linux 操作系统已经能够支持上述所有芯片组，并且还支持很多其他芯片组。对于所选的芯片组，用户可以通过 Linux 源代码和配置工具了解相关信息。

3.2 集成化处理器：片上系统

前一节重点介绍了几种单机处理器。尽管这些处理器能够适用于大量应用（包含一些高功率的处理引擎），但绝大部分嵌入式系统都采用集成化处理器，即片上系统（system on chip, SOC）。目前，有大量的片上系统产品可供选择。本节只选择目前行业内技术比较领先的产品，并分别介绍这些产品的主要特色。与前一节类似，我们只关注 Linux 提供了良好支持的集成化处理器。

现在有几种主要的处理器体系结构，每一种体系结构都有一些片上系统的例子。PowerPC 处理器在网络和电信相关的嵌入式应用中具有传统优势，而 MIPS 类型的处理器在一些低端的消费类电子产品中占有一席之地⁴，ARM 处理器则在移动电话中广泛使用。这些表明，主要的体系结构已经广泛使用在嵌入式 Linux 系统中。从第 4 章可以了解到，Linux 目前支持 20 多种不同的硬件体系结构。

⁴ 这些是作者基于市场的观察所得的个人观点，并不是基于某些统计数据而得出的结论。

3.2.1 PowerPC

PowerPC 处理器是一种 RISC 体系结构，由苹果电脑公司、IBM 和摩托罗拉的半导体部门（现在摩托罗拉半导体部门已经从摩托罗拉公司分离出来，成立了飞思卡尔半导体公司，即 Freescale Semiconductor）共同开发。很多文档都详细描述了 PowerPC 体系结构，可以先从本章末尾的“参考资源”中罗列的文档入手。

在各种各样的嵌入式产品中几乎都能找到 PowerPC 处理器的身影，从汽车、消费类电子产品、网络应用设备到最大规模数据及电信交换机，PowerPC 是嵌入式应用中最流行的一种体系结构。正是由于 PowerPC 如此流行，才会存在数家制造商为 PowerPC 系统提供的大量软硬件解决方案。

3.2.2 AMCC PowerPC

本书后面章节的一些示例是基于 AMCC PowerPC 440EP 嵌入式处理器的。440EP 处理器是很多连网和通信产品中常见的嵌入式集成化处理器，它具有如下特征：

- 片上DDR SDRAM控制器；
- 集成NAND闪存控制器；
- 具有PCI总线接口；
- 支持双10/100Mbit/s以太网口；
- 片上USB 2.0接口；
- 支持最多4个用户可配置的串口；
- 双I²C控制器；
- 可编程中断控制器；
- 串行外围接口（SPI）控制器；
- 可编程计时器；
- 调试用JTAG接口。

440EP 处理器是一款完整的片上系统，图 3-2 是 AMCC PowerPC 440EP 处理器的内部组成框图。配合外加的内存芯片和物理 I/O 硬件，就可以构建一个围绕这个集成化处理器且只需要很少接口电路的完整高端嵌入式系统。

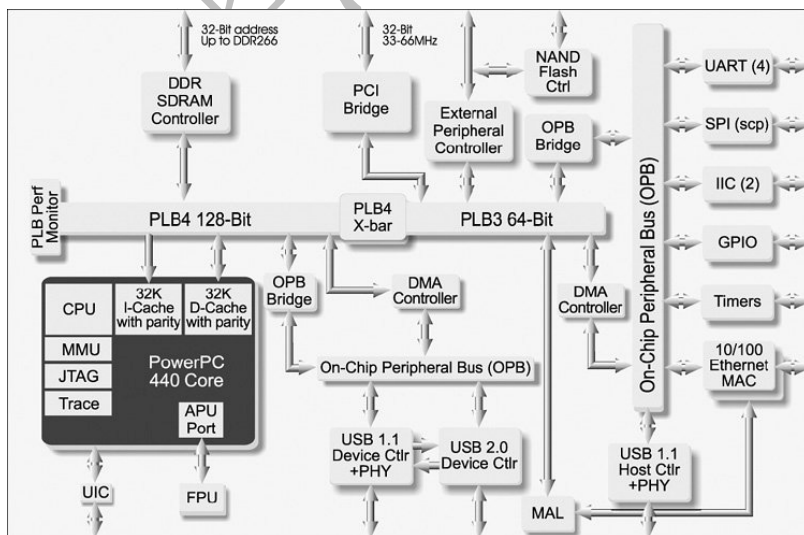


图 3-2 AMCC PPC 440EP 嵌入式处理器（经 AMCC 公司许可）

许多制造商都会提供参考硬件平台，便于开发人员考查处理器或其他硬件的功能。第 14 章和第 15 章将给出使用 AMCC Yosemite 评估板来运行的相应示例，该评估板就是由 AMCC 提供的，包含图 3-2 所示 440EP 处理器的参考平台。

PowerPC 处理器也提供很多硬件配置用于不同的应用，如图 3-2 所示，AMCC 440EP 处理器为大量常见产品提供了丰富的 I/O 接口，它只有很少的附加电路。由于 440EP 处理器集成了浮点运算单元（FPU），因此非常适用于网络设备、通用工业控制系统和直接连网成像设备。

AMCC PowerPC 产品线也包含了几种不同的产品，这些产品应用了两个处理器核。基于 405 核的产品不提供以太网控制器接口，它能够提供的接口或者外围设备包括集成 SDRAM 控制器、双 UART 接口（用于串行通信）、I²C（用于板上的底层管理通信）、集成计数器以及一些通用的 I/O 端口等。基于 AMCC 405 核的集成化处理器产品价格公道而且性能优良，非常适用于不需要硬件 FPU 的应用。

基于 AMCC 440 核的产品可以提升性能并增加外围电路。例如，在本书一些实例中使用的 440EP 处理器包含了硬件 FPU，而 440GX 处理器则额外提供了两个 10/100/1000 Mbit/s 的三速以太网接口（外加两个 10/100Mbit/s 以太网接口）和可以用于高性能网络设备应用的 TCP/IP 硬件加速。440SP 处理器增加了支持 RAID 5/6 应用的硬件芯片。所有这些处理器都能够支持 Linux 操作系统。表 3-1 中总结了 AMCC 405 系列处理器的特性，而表 3-2 中总结了 AMCC 440 系列处理器的特性。

表 3-1 AMCC 405 系列处理器特性

特 性	405CR	405EP	405GP	405GPr
内核/主频	PowerPC 405 (133-266) MHz	PowerPC 405 (133-333) MHz	PowerPC 405 (133-266) MHz	PowerPC 405 (266-400) MHz
DRAM 控制器	SDRAM/133	SDRAM/133	SDRAM/133	SDRAM/133
以太网 10/100	N	2	1	1
GPIO 线	23	32	24	24
UART 控制器	2	2	2	2
DMA 控制器	4 通道	4 通道	4 通道	4 通道
I ² C	Y	Y	Y	Y
PCI 主控制器	N	Y	Y	Y
中断控制器	Y	Y	Y	Y

注 详细信息可以查阅 AMCC 主页 www.amcc.com/embedded。

表 3-2 AMCC 440 系列处理器特性

特 性	440ER	440GP	440GX	440SP
内核/主频	PowerPC 440 (333-667) MHz	PowerPC 440 (400-500) MHz	PowerPC 440 (533-800) MHz	PowerPC 440 (533-667) MHz
DRAM 控制器	DDR	DDR	DDR	DDR
以太网 10/100	N	2	1	千兆以太网
千兆以太网	N	N	2	1
GPIO 线	64	32	32	32
UART	4	2	2	3
DMA 控制器	4 通道	4 通道	4 通道	3 通道
I ² C	2	2	2	2
PCI 主控制器	Y	PCI-X	PCI-X	3 个 PCI-X
SPI 主控制器	Y	N	N	N
中断控制器	Y	Y	Y	Y

3.2.3 Freescale PowerPC

Freescale 公司提供了数量众多的含集成化外设的 PowerPC 处理器，目前该公司已经调整其 PowerPC 产品策略，将其划分为 3 个主要市场：网络设备、汽车电子以及工业控制。Freescale PowerPC 处理器目前在网络设备市场中取得了非常可观的成功，其处理器产品线被广泛地应用于各种高低端网络设备。

根据 Freescale 公司最新发布的信息，该公司目前已经累计供货 2 亿多颗集成化处理器，这些处理器多数用于通信设备中⁵。之所以成功，部分原因是采用了 PowerQUICC 处理器产品线。PowerQUICC 体系结构并不是什么新鲜事物，它已经存在十余年之久。这种处理器以集成了 QUICC 引擎的 PowerPC 处理器核为基础（根据 Freescale 公司的文献，QUICC 引擎也叫作通信处理器模块或者 CPM）。QUICC 引擎也是一

⁵ 在Freescale公司网站的Media Center, Press Releases页面上，可以查阅到2005年10月31日发表的一篇通讯。

种独立的 RISC 处理器，其目的就是减少主 PowerPC 处理器核进行通信处理的负荷，这样 PowerPC 核就可以更加关注于对应用的控制和管理。QUICC 引擎尽管比较复杂，但是对于通信外围控制器来说，却提供了非常灵活的手段。

目前，PowerQUICC 系列处理器也划分为 4 大类。为简便起见，下面的讨论中将 PowerQUICC 产品简称为 PQ。

PQ I 系列产品包含了最初基于 PowerPC 处理器开发的 PowerQUICC 处理器，并由 MPC8xx 系列处理器产品组成。这些集成化通信处理器产品运行在 50MHz~133MHz，主要特性由嵌入式 PowerPC 8xx 核实现。PQ I 系列处理器主要用于 ATM 和以太网边缘设备，例如家用路由器、小型家用办公设备、普通居民住宅用的网关设备、ASDL 和有线调制解调器等。

CPM 或者 QUICC 引擎含有两个独特而又强大的通信控制器。SCC（串行通信控制器）是灵活的串行接口，可以实现很多基于串行通信的协议，包括以太网、HDLC/SDLC、AppleTalk、同步或者异步 UART、IrDA 以及其他一些数据流协议。

SMC（串行管理控制器）也可用于实现类似的串行通信协议，例如 ISDN、串行 UART、SPI 协议等。

将 SMC 和 SCC 两种控制器结合起来就能够实现非常灵活的 I/O 组合，其内部的时分多路复用器更是可以利用这些接口，来实现诸如 T1 或者 E1 类型的 I/O。

表 3-3 列出了部分 PQ I 系列处理器的主要特性。

表 3-3 部分 PowerQUICC I 系列处理器的产品特性

特 性	MPC850	MPC860	MPC875	MPC885
内核/主频	PowerPC 8xx 最高 80MHz	PowerPC 8xx 最高 80MHz	PowerPC 8xx 最高 133MHz	PowerPC 8xx 最高 133MHz
DRAM 控制器	Y	Y	Y	Y
USB	Y	N	Y	Y
SPI 控制器	Y	N	N	N
I ² C 控制器	Y	Y	Y	Y
SCC 控制器	2	4	1	3
SMC 控制器	2	2	1	2
安全引擎	N	N	Y	Y
以太网控制器	N	N	2	2

后来开发出了 PQ II Freescale PowerPC 处理器产品。PQ II 产品集成了在 Freescale 603e 嵌入式处理器核基础上发展而来的 G2 PowerPC 处理器核。该集成化通信处理器可以运行在 133 MHz~450 MHz，并且提供了多个 10/100 Mbit/s 以太网接口、安全引擎，支持 ATM 和 PCI 等。PQ II 系列产品包含了型号为 MPC82xx 的处理器产品。

PQ II 处理器产品为 QUICC 引擎增加了两个新的控制器。FCC 控制器是进行全双工快速串行通信的控制器，它支持高速通信，例如 10/100 Mbit/s 以太网或者最高能够达到 45 Mbit/s 的 T3/E3 通信端口。MCC 控制器是进行数据通信的多通道控制器，每通道具有 128 KB×64 KB 的数据吞吐能力。

表 3-4 总结了部分 PQ II 系列处理器的主要特性。

表 3-4 部分 PowerQUICC II 处理器产品特性

特 性	MPC8250	MPC8260	MPC8272	MPC8280
内核/主频	G2/603e (150-200) MHz	G2/603e (100-300) MHz	G2/603e (266-400) MHz	G2/603e (266-400) MHz
DRAM 控制器	Y	Y	Y	Y
USB	N	N	Y	通过 SCC4 实现
SPI 控制器	Y	Y	Y	Y
I ² C 控制器	Y	Y	Y	Y
SCC 控制器	4	4	3	4
SMC 控制器	2	2	2	2
FCC 控制器	3	3	2	3
MCC 控制器	1	2	0	2

基于 Freescale PowerPC e300 核（它是 G2/603e 核心的升级产品），PowerQUICC II Pro 系列处理器可以运行在 266 MHz~667 MHz，并且具有支持千兆以太网、DDR SDRAM 控制器、PCI、高速 USB、安全引擎等特性。PowerQUICC II Pro 系列产品包含了 MPC83xx 系列处理器。PQ II 和 PQ II Pro 系列产品具有非常广泛的应用领域，例如 LAN 或者 WAN 交换机、集线器和网关、PBX 系统以及很多类似的具有复杂度和高性能需求的系统。

PowerQUICC II Pro 包含三大系列产品，其中一种不包含 QUICC 引擎，而另外两种则包含了 QUICC 引擎升级版产品。MPC8358E 和 MPC8360E 具有新的通用通信控制器，支持多种通信协议。

表 3-5 总结了部分 PQ II Pro 系列处理器的主要特性。

表 3-5 部分 PowerQUICC II Pro 处理器产品特性

特 性	MPC8343E	MPC8347E	MPC8349E	MPC8360E
内核/主频	e300 (266-400) MHz	e300 (266-667) MHz	e300 (400-667) MHz	e300 (266-667) MHz
DRAM 控制器	Y-DDR	Y-DDR	Y-DDR	Y-DDR
USB	Y	2	2	Y
SPI 控制器	Y	Y	Y	Y
I ² C 控制器	2	2	2	2
以 太 网 10/100/1000	2	2	2	通过 UCC 实现
UART	2	2	2	2
PCI 控制器	Y	Y	Y	Y
安全引擎	Y	Y	Y	Y
UCC 控制器	0	0	0	8
MCC 控制器	0	0	0	1

PowerQUICC 系列处理器产品中的顶级产品就是 PQ III 系列处理器，该系列处理器可以运行在 600 MHz~1.5 GHz，以 PowerPC e500 核为基础，支持千兆以太网、DDR SDRAM、RapidIO、PCI 和 PCI-X、ATM、HDLC 等。PowerQUICC III 系列处理器包括 MPC85xx 系列产品线。这些处理器主要用于高端应用中，例如无线网络基站控制器、光纤边缘交换机、中央办公交换机等类似设备。

表 3-6 总结了部分 PQ III 系列处理器的主要特性。

表 3-6 部分 PowerQUICC II Pro 处理器产品特性

特 性	MPC8540	MPC8548E	MPC8555E	MPC8560
内核/主频	e500 最高 1GHz	e500 最高 1.5GHz	e500 最高 1GHz	e500 最高 1GHz
DRAM 控制器	Y-DDR	Y-DDR	Y-DDR	Y-DDR
USB	N	N	通过 SCC 实现	N
SPI 控制器	N	N	Y	Y
I ² C 控制器	Y	Y	Y	Y
以太网 10/100	1	千兆以太网	通过 SCC 实现	通过 SCC 实现
千兆以太网	2	4	2	2
UART	2	2	2	通过 SCC 实现
PCI 控制器	PCI/PCI-X	PCI/PCI-X	PCI	PCI/PCI-X
RapidIO	Y	Y	Y	Y
安全引擎	N	Y	Y	N
SCC	—	—	3	4
FCC	—	—	2	2
SMC	—	—	2	0
MCC	—	—	0	2

3.2.4 MIPS

你可能会对 MIPS 类型处理器感到惊奇,因为基于 MIPS 体系结构的 32 位处理器已经问世 20 多年了。MIPS 体系结构设计于 1981 年,由一支斯坦福大学的工程队伍开发完成。领军人物是 John Hennessey 博士,后来他成立了 MIPS Computer System 公司。现在,该公司已经改名为 MIPS Technology 公司,主要工作就是设计并发布 MIPS 体系结构和处理器核。

很多公司购买了 MIPS 核的研发许可权,部分产品占据了嵌入式处理器市场非常重要的一席之地。MIPS 处理器使用 RISC 体系结构,支持许多流行产品的 32 位和 64 位实现。MIPS 处理器广泛使用在很多产品中,从高端产品到消费类电子产品。MIPS 处理器应用在很多流行的消费类电子产品中,例如 Sony 公司的高清电视、LinkSys 公司无线接入点产品以及 Sony 公司推出的 PS2 游戏机等⁶。

MIPS Technology 公司的网站上一共列出了 73 家拥有使用 MIPS 处理器核生产产品的许可权的公司,部分公司是业内响当当的巨头,例如 Sony、Texas Instruments、Cisco's Scientific Atlanta (电视机顶盒产品的领头羊)、Motorola 等。当然,其中最大也是最成功的生产厂商之一就是 Broadcom 公司。

3.2.5 Broadcom MIPS

Broadcom 公司是片上系统(SOC)解决方案的领先供应商,其业务领域涉及有线电视顶盒、有线调制解调器、HDTV、无线网络、千兆以太网和 VoIP 系列产品等。Broadcom 的 SOC 产品在上述领域被广泛采纳。之前提及家庭日常生活中已经存在了大量采用 Linux 操作系统的嵌入式设备,即使你还不知道,这其中也必定有使用 Broadcom 公司基于 MIPS 核的片上系统产品。

在 2000 年, Broadcom 公司收购了 SiByte 公司,从而涉足通信处理器产品市场。目前 Broadcom 公司能够提供单核、双核甚至四核的处理器,当然, Broadcom 公司依然将这些处理器称为 SiByte 处理器。

单核 SiByte 处理器包含了 BCM1122 和 BCM1125H 两种型号。它们都基于 MIPS64 处理器核,运行主频在 400 MHz~900 MHz。处理器包含 DDR SDRAM 控制器、10/100 Mbit/s 以太网控制器、PCI 控制器等片上外设控制器,同时还包含 SMBus 串行接口、PCMCIA 以及两个 UART 串行端口配置。BCM1125H 处理器还提供了一个 10/100/1000 Mbit/s 三速的以太网控制器。这些处理器的一个最显著的特性就是其低功耗特性,运行在 400 MHz 的主频下,功耗只有 4 W。

双核 SiByte 处理器包含了 BCM1250、BCM1255 和 BCM1280 三种型号,同样基于 MIPS64 处理器核,运行主频在 600 MHz (BCM1250)~1.2 GHz (BCM1255、BCM1280)。这几种双核处理器包括集成化外设控制器,如 DDR SDRAM 控制器、不同数量的千兆以太网控制器、64 位的 PCI-X 总线接口控制器、SMBus、PCMCIA 以及多个 UART 接口。与单核处理器类似,这些双核处理器也具有显著的低功耗特性,例如 BCM1255 处理器运行在 1 GHz 主频时,其功耗只有 13 W。

四核 SiByte 处理器包含了 BCM1455 和 BCM1480 两种通信处理器,与前两种 SiByte 处理器类似,该产品也是基于 MIPS64 处理器核,运行主频在 800 MHz~1.2 GHz。该系列处理器内部集成了 DDR SDRAM 控制器、4 个千兆以太网 MAC 控制器、64 位 PCI-X 主机控制器以及 SMBus、PCMCIA、4 个串行 UART 接口等。

表 3-7 总结了部分 Broadcom SiByte 处理器的基本特性。

表 3-7 部分 Broadcom SiByte 处理器产品特性

特 性	BCM1125H	BCM1250	BCM1280	BCM1480
内核/主频	SB-1 MIPS64 (400-900) MHz	双 SB-1 MIPS64 (600-1000) MHz	双 SB-1 MIPS64 (800-1200) MHz	四 SB-1 MIPS64 (800-1200) MHz
DRAM 控制器	Y-DDR	Y-DDR	Y-DDR	Y-DDR
串行接口	2-55Mbit/s	2-55Mbit/s	4 UART	4 UART
SMBus 接口	2	2	2	2
PCMCIA	Y	Y	Y	Y
千兆以太网 (10/100/100) Mbit/s	2	3	4	4
PCI 控制器	Y	Y	PCI/PCI-X	PCI/PCI-X

⁶ www.mips.com/content/PressRoom/PressReleases/2003-12-22。

安全引擎	N	N	N	
高速 I/O (HyperTransport)	1	1	3	3

3.2.6 AMD MIPS

AMD 公司 (Advanced Micro Devices Inc) 在嵌入式 MIPS 处理器市场也占据重要一席。在 2002 年, AMD 公司收购了 Alchemy Semiconductor 公司, 从而能够向嵌入式市场提供基于 MIPS32 核和体系结构的单片集成化 SDC。收购后的 Alchemy 产品线基于流行的 MIPS32 处理器核, 具有相对功耗低、高度系统集成化等特性。

Au1000 和 Au1100 处理器工作主频在 266 MHz~500 MHz。两种处理器都集成了 SDRAM 控制器和独立总线控制器, 可以附加到闪存或者 PCMCIA 等外部设备。表 3-8 总结了当前几种 Alchemy 处理器产品线的产品。

表 3-8 AMD Alchemy MIPS 处理器产品特性

特 性[*]	Au1000	Au1100	Au1200	Au1500	Au1550
内核/主频	MIPS32 (266-500) MHz	MIPS32 (333-500) MHz	MIPS32 (333-500) MHz	MIPS32 (333-500) MHz	MIPS32 (333-500) MHz
DRAM 控制器	SDRAM	SDRAM	DDR	SDRAM	DDR
以太网	2	1		2	2
GPIO	32	48	48	39	43
UARTs	4	3	2	2	3
USB1.1	Host+Device	Host+Device	USB2.0	Host+Device	Host+Device
AC97 音频解 码器	1	1	通过 SPC 实现	1	通过 SPC 实现
I ² S	1	1	通过 SPC 实现		通过 SPC 实现
SD/MMC	N	2	2	N	N

[*] 其他外设包含 IrDA 控制器、LCD 控制器、2SPC、电源管理、DMA 引擎、RTC、摄像头接口、LCD 控制器、编解码硬件加速器、PCI 主控制器、4 SPC、安全引擎, 等等。

3.2.7 其他类型的 MIPS

如前所述, 在 MIPS 公司的网站 www.mips.com/content/Licensees/ProductCatalog/licensees 上能够找到上百个已经发布的 MIPS 许可。遗憾的是, 这里因篇幅所限不能一一列出。大家可以通过 MIPS 网站查找符合自己需求的 MIPS 处理器厂商。

例如, ATI Technologies 公司使用 MIPS 核开发了 Xilleon 机顶盒系列产品的芯片组, Cavium Network 的 Octeon 系列产品使用 MIPS64 核开发了多核处理器。Integrated Device Technology 公司开发了集成化通信处理器 Interprise, 它也是基于 MIPS 体系结构的。PMC-Sierra、NEC、Toshiba 等公司也开发了基于 MIPS 核的处理器。对于上述及其他处理器, Linux 都提供了良好的支持。

3.2.8 ARM

基于 ARM 处理器体系结构的产品同样也占据着非常大的消费类电子市场份额。目前有非常多流行且普通的产品使用了 ARM 处理器核, 其中一些比较著名的产品包括 Sony PlayStation Portable (便携式 PS 游戏机)、Apple 公司的 iPod Nano⁷、Nintedo Game Boy Micro 和 DS 产品、TomTom GO 300 GPS、Motorola E680i 移动电话 (该产品使用了嵌入式 Linux)。可以说, 基于 ARM 核的处理器占据着当前数字移动电话的半壁江山, 详细信息可以参考 ARM 公司的文档 www.arm.com/micsPDFs/3822.pdf。

ARM 处理器体系结构由 ARM 公司开发并且拥有知识产权, 全球的半导体产品制造商都可以选择 ARM 处理器体系结构开发自己的产品。目前许多全球知名的半导体公司都拥有 ARM 技术的许可证, 并且发布了多种基于某种 ARM 处理器核的集成化处理器。

⁷ 根据 ARM 公司于 2005 年圣诞节期间发布的报告。

3.2.9 TI ARM

Texas Instruments 公司使用 ARM 核开发了 OMAP 系列集成化处理器。这些处理器包含很多集成化的外围设备，意在作为单一的芯片解决方案，针对各种消费类电子产品，例如手持终端、PDA 等类似的多媒体平台。除了常出现在集成化处理器上的接口，例如 UART、I²C 控制器等，OMAP 系列处理器包含了以下更广泛的具有专用目的的接口：

- LCD 以及背光控制器；
- 蜂鸣器驱动接口；
- 摄像头接口；
- MMC/SD 闪存卡控制器；
- 电池电源硬件管理；
- USB 客户端/主机端接口；
- 无线调制解调器接口逻辑；
- 集成 2D 或者 3D 图形加速器；
- 集成安全加速器；
- S-Video 输出；
- IrDA 控制器；
- DAC，可以用于电视信号（PAL/NTSC）输出；
- 集成 DSP，可以用于视频或者音频处理。

很多流行的手持终端和 PDA 设备都采用了 TI 公司开发的 OMAP 系列处理器，由于该处理器基于 ARM 核，因此已经能够支持 Linux 操作系统。表 3-9 对 TI OMAP 系列处理器中较新的成员特性进行了比较。

表 3-9 TI ARM OMAP 处理器产品特性

特 性	OMAP1710	OMAP2420	OMAP2430	OMAP3430
内核/主频	ARM926 TEJ 最高 200MHz	ARM11 330MHz	ARM1136 330MHz	ARM Cortex A8 550MHz
DRAM 控制器	SDRAM	SDRAM	SDRAM	SDRAM
UART	Y	Y	Y	Y
USB	Client+Host	Client+Host	Client+Host	Client+Host
I ² C 控制器	Y	Y	Y	Y
MMC-SD 接口	Y	Y	Y	Y
键盘控制器	Y	Y	Y	Y
摄像头接口	Y	Y	Y	Y
图形加速功能	2D	2D/3D	2D/3D	Y
集成 DSP	TMS320C55x	TMS320C55x	N	N
视频加速硬件	N	IVA（成像视频加 速器）	IVA2（成像视频加 速器）	IVA2+（成像视频 加速器）
安全加速	Y	Y	Y	Y
音频解码器	Y	Y	Y	Y
蓝牙和 RF 调制解 调器接口	Y	Y	Y	Y
LCD 控制器	Y	Y	Y	Y
显示控制器	N	PAL/NTSC VGA/QVGA	PAL/NTSC VGA/QVGA	PAL/NTSC VGA/QVGA

3.2.10 Freescale ARM

ARM 体系结构的成功，还表现在业内领先的厂商竞相获取 ARM 技术的许可授权，Freescale 公司就是其中之一。该公司采用 ARM 处理器核开发了 i.MX 系列处理器。这些基于 ARM 处理器核的集成化处理器在多媒体消费品设备上获得了成功，如手持游戏终端、PDA、手持终端等。

Freescle 公司的 ARM 系列产品包含了 Freescle i.MX21 系列产品和 i.MX31 系列产品。i.MX21 产品基于 ARM9 核进行开发，而 i.MX31 产品基于 ARM11 核进行开发。与 TI 公司开发的 OMPA 产品类似，Freescle 公司开发的片上系统产品也包含了具有多媒体需求的便携式消费类电子产品所需的集成化外设。i.MX21/31 系列产品集成了下列接口：

- 图形加速器；
- MPEG-4编码器；
- 小键盘和LCD控制器；
- 摄像头接口；
- 音频多路复用器；
- IrDA红外I/O接口；
- SD/MMC接口；
- 多种扩展I/O，例如PCMCIA、USB、DRAM控制器以及用于串行端口连接的UART等。

3.2.11 Intel ARM XScale

Intel 公司也基于 ARM v5TE 体系结构开发了自己的集成化处理器，将其命名为 XScale。XScale 处理器根据其应用领域可以分为几大类，表 3-10 总结了 XScale 系列处理器的分类（应用类型）。

表 3-10 Intel XScale 系列处理器

分 类	应 用	处理器实例
应用处理器	手持终端、PDA	PXA27x、PXA29x
I/O 处理器	用于数据存储、数据打印、远程数据处理等的高速数据处理	IOP331/332/333
网络处理器	网络以及通信、数据平面处理、快速分组处理，等等	IXP425、IXP465 IXP2350、IXP2855

很多消费类电子产品和网络产品都是使用 Intel XScale 体系结构处理器进行开发的。一些著名的产品有 Garmin 公司生产的 GPS iQue M5、惠普公司生产的 iPAQ、基于 Palm 处理器的智能手机 Treo、Motorola 公司的智能手机 A760 等。Linux 操作系统已经全面支持该系列的所有处理器。

在高性能网络设备中也可以找到 Intel 的网络处理器，在这些设备中需要高速数据吞吐处理。例如深度分组检查、数据加密和解密、分组过滤以及信号处理。这些网络处理器除了包含基本的 ARM 核以外，还结合了一个或多个处理引擎——叫作网络处理引擎(NPE)。这些 NPE 专门用于实时的特定数据路径操作。NPE 实际上是一个微处理器，可以执行一些微码算法，与 ARM 处理器核并行完成网络数据的处理。有兴趣的读者可查看 Intel 公司的网站（www.intel.com）详细了解 XScale 系列处理器的技术细节。

3.2.12 其他 ARM

业内有超过 100 家半导体公司是基于 ARM 技术开发自己的处理器的，这里不一一列出。很多基于 ARM 处理器核的产品都专门针对一个特殊应用领域进行开发以适用于特定的市场，例如手持终端市场、数据存储市场、网络处理、汽车电子市场等。这些公司包括 Altera、PMC-Sierra、三星电子、飞利浦半导体、富士通等。有兴趣的读者可以到 ARM Technologies 公司的网站（www.arm.com）查阅相关的详细信息。

3.2.13 其他体系结构

前几节基本上覆盖了在嵌入式 Linux 操作系统中广泛使用的主要体系结构。不过，Linux 操作系统也支持其他一些体系结构。最近的报告显示，Linux 操作系统能够支持的体系结构多达 25 种，既包含了高性能的 64 位处理器平台也有传统的 32 位处理器平台，但有些 32 位平台和 64 位平台彼此独立，有些系统则有可能存在部分不再支持的接口。

Linux 操作系统还能够支持 Sun 公司的 Sparc 和 Sparc64 体系结构、Tensilica 公司开发的 Xtensa 体系结构、NEC 的 v850 体系结构等。稍微花点儿时间浏览一下 Linux 操作系统内核所能够支持的体系结构，就能了解到 Linux 操作系统可以支持的所有体系结构。不过得当心，并不是所有内容都及时得到了更新。现

在，确实可以选择那些主流的处理器平台作为嵌入式系统开发的基础，不过，最好能够紧跟 Linux 操作系统，特别是嵌入式 Linux 操作系统供应商的发展步伐。在附录 D 中，列出了对 Linux 操作系统应用开发能够有一定帮助的资源列表。

3.3 硬件平台

在系统设计应用中采纳通用的硬件参考平台并不新鲜，PC/104 或者 VMEbus 就是硬件平台的两个例子，并且它们经过了嵌入式系统市场的考验⁸。近年来，出现了更多成功的硬件平台，其中包括 CompactPCI 以及相关的衍生产品。

3.3.1 CompactPCI

CompactPCI (cPCI) 硬件平台是基于 PCI 电气标准和 Eurocard 体系规范的。cPCI 系统具有下列特性：

- 3U或者6U尺寸的直列插卡形式；
- 基于安全的考虑可以锁闭系统；
- 支持前面板I/O连接或者后面板I/O连接；
- 具有高密度的背板连接；
- 叉排电源管脚支持热插拔；
- 多厂商支持；
- 兼容标准的PCI芯片组。

可以从 PCI 工业计算机制造商联盟(PCIMG)的网站 www.pcimg.org/compactpci.stm 上查阅 CompactPCI 的相关标准和规范。

3.3.2 ATCA

cPCI 获成功后，其后续者是高性能电信计算体系结构 (Advanced Telecommunication Computing Architecture, ATCA)，它不仅是一种体系结构同时也是一种平台，该平台是基于 PCIMG 3.x 系列规范设计开发的。目前很多顶级硬件制造商已经开始开发新的基于 ATCA 的平台。ATCA 平台的主要应用就是电信级产品交换机或者传输设备、高端数据中心服务器以及存储设备。

ATCA 平台引领着当前软硬件产品供应商不断前进，电信或者网络设备市场的大多数大型设备制造商逐步放弃自己设计生产的定制化硬件产品。相应地，这种趋势在软件平台也很明显，从操作系统到所谓的中间件软件（例如高可用协议栈解决方案）。引发这种趋势的主要原因就是成本降低以及产品面市时间的压力。

ATCA 是由几个 PCIMG 规范定义的，表 3-11 中列出了这些规范。

表 3-11 ATCA PICMG3.x 规范

规 范	说 明
PICMG 3.0	机械规范，包括接插件、供电、制冷和基本系统管理
PICMG 3.1	以太网和光纤通道交换接口
PICMG 3.2	Infiniband 交换光纤接口
PICMG 3.3	StarFabric 接口
PICMG 3.4	PCIe 接口
PICMG 3.5	RapidIO 接口

本节介绍的平台已经成为了现在嵌入式 Linux 操作系统应用的热门话题，特别是 ATCA 体系结构，该行业越来越多地转向 COTS 技术，ATCA 以及 Linux 操作系统势必在这种行业趋势中扮演着越来越重要的角色。

3.4 小结

⁸ VMEbus实际上并不是一种硬件参考平台，而是基于Eurocard的一种体系规范，并且有多家供应商通过认证并且能够使用该系统标识。

- 目前很多单机处理器都支持Linux操作系统，最流行的莫过于支持IA32/IA64体系结构或PowerPC体系结构。这些单机处理器作为用于构建极高性能的计算引擎的构造块。本章列举了来自于Intel、IBM和Freescale公司的几种处理器。
- 集成化处理器（即片上系统）支配着嵌入式Linux操作系统的发展。许多厂商及其一些流行的体系结构用于了嵌入式Linux设备的设计中，本章同样列举了几个流行的体系结构及其生产商。
- 另一个越来越流行的趋势就是，从选择合适的软硬件平台转向了COTS技术解决方案。目前嵌入式Linux操作系统应用领域较为流行的平台是cPCI和ATCA。

参考资源

32 位 PowerPC 体系结构参考手册：

Programming Environments Manual for 32-Bit Implementations of the PowerPC Architecture—Revision 2

Freescale Semiconductor, Inc.

www.freescale.com/files/product/doc/MPCFPE32B.pdf

64 位 PowerPC 体系结构参考手册：

The Programming Environments Manual for 64-Bit Microprocessors—Version 3.0

IBM 公司

PowerPC 体系结构简要概述

A Developer's Guide to the POWER Architecture

Brett Olsson, Processor Architect, IBM Corp.

Anthony Marsala, Software Engineer, IBM Corp.

www-128.ibm.com/developerworks/linux/library/l-powarch/

Intel XScale 主页

www.intel.com/design/intelxscale/

联系方式

集团官网：www.hqyj.com

嵌入式学院：www.embedu.org

移动互联网学院：www.3g-edu.org

企业学院：www.farsight.com.cn

物联网学院：www.topsight.cn

研发中心：dev.hqyj.com

集团总部地址：北京市海淀区西三旗悦秀路北京明园大学校内 华清远见教育集团

北京地址：北京市海淀区西三旗悦秀路北京明园大学校区，电话：010-82600386/5

上海地址：上海市徐汇区漕溪路 250 号银海大厦 11 层 B 区，电话：021-54485127

深圳地址：深圳市龙华新区人民北路美丽 AAA 大厦 15 层，电话：0755-25590506

成都地址：成都市武侯区科华北路 99 号科华大厦 6 层，电话：028-85405115

南京地址：南京市白下区汉中路 185 号鸿运大厦 10 层，电话：025-86551900

武汉地址：武汉市工程大学卓刀泉校区科技孵化器大楼 8 层，电话：027-87804688

西安地址：西安市高新区高新一路 12 号创业大厦 D3 楼 5 层，电话：029-68785218

广州地址：广州市天河区中山大道 268 号天河广场 3 层，电话：020-28916067