MSP430

单片机原理与应用实例

详解



洪 利　章 扬　李世宝　编著

北京航空航天大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

MSP430 单片机
原理与应用实例详解

洪　利　章　扬　李世宝　编著

内 容 简 介

本书根据当前单片机发展的趋势，以 TI 公司的 MSP430 系列单片机为例，全面讲述了 MSP430 单片机的原理及其开发技术。全书共分 7 章，首先，简单介绍了微型计算机原理和嵌入式系统的基本构成和一些基本概念，在此基础上对 MSP430x14x 系列单片机的核心硬件结构和软件设计方法做了较为详细的介绍；其次，详细介绍了 MSP430 系列单片机中典型的外围模块原理，并对 MSP430 系列单片机的典型外部接口电路及软件设计方法做了详细介绍；最后，通过 5 个应用实例简单介绍了 MSP430 系列单片机应用系统的开发。本书各部分均给出了大量实例代码，有利于初学者入门学习。

本书可作为高等院校计算机、通信、电子及自动化等专业的教学参考书，也可供对 MSP430 系列单片机感兴趣的技术人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

MSP430 单片机原理与应用实例详解 / 洪利，章扬，李世宝编著. --
北京 ：北京航空航天大学出版社，2010.7

ISBN 978-7-5124-0122-8

Ⅰ. ①M… Ⅱ. ①洪… Ⅲ. ①单片微型计算机 Ⅳ.
①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 114568 号

版权所有，侵权必究。

MSP430 单片机原理与应用实例详解

洪 利 章 扬 李世宝 编著

责任编辑 杨 昕 刘爱萍 刘 工

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) http:www.buaapress.com.cn

发行部电话：(010)82317024 传真：(010)82328026

读者信箱：bhpress@263.net 邮购电话：(010)82316936

印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本：787×960 1/16 印张：33.75 字数：756 千字

2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷 印数：4 000 册

ISBN 978-7-5124-0122-8 定价：59.00 元

前　言

自从 20 世纪 70 年代美国德州仪器(TI)公司推出 TMS1000 系列 4 位单片机以来，单片机技术已经渗透到了生产和生活的各个领域，得到了极为广泛的应用。在当前嵌入式领域，DSP、ARM、MIPS 等高性能处理器可能是更为热门的话题，但是单片机以其低廉的价格，较强的抗干扰能力，简单易学的开发方式，依然在现代嵌入式开发中占有更基础，更重要的地位。在单片机发展过程中，根据自身特点和实际需求有了新的发展：① 集成度更高，功能更强。16 位、32 位单片机不断推出，主频不断提高，以满足当前复杂应用的需求。② 片内外设资源更加丰富。不仅集成了构成微型计算机的中央处理器、存储器、输入/输出接口、时钟模块等传统功能单元，还集成了串口通信模块、Flash 模块、模/数转换模块、数/模转换模块等，用户可以根据自己不同的需要来选择合适的系列，使单片机技术朝着片上系统的方向发展。③ 低电压、低功耗成为主流，随着越来越多的手持设备或电池供电设备的出现，低电压、低功耗的产品越来越受到市场的欢迎。对于希望进入嵌入式领域的技术人员来说，选择单片机来入门是个不错的选择。

MSP430 系列超低功耗单片机是 TI 公司于 1996 年开始推出的超低功耗 16 位单片机，自推出以来，凭借其自身优良的性能、方便灵活的开发方式、丰富的技术资料和应用案例以及 TI 中国代理利尔达公司的大力推广，MSP430 系列单片机在国内得到了非常广泛的应用。很多高校也使用 MSP430 系列单片机来进行单片机的教学。

MSP430 系列单片机的迅速发展和应用范围的不断扩大，主要取决于以下特点。

① 强大的处理能力。MSP430 系列单片机是一个 16 位的单片机，在 8 MHz 晶体驱动下指令周期为 125 ns，并在内部集成了硬件乘法器，有较高的处理速度，这些特点保证了其可编制出高效率的源程序。

② MSP430 系列单片机的中断源较多，并且可以任意嵌套，使用时灵活方便。当系统处于省电的备用状态时，用中断请求将它唤醒只用 6 μs。

③ 超低功耗。MSP430 系列单片机通过降低芯片的电源电压及灵活而可控的运行时钟来保证其高低功耗特性。在系统中共有一种活动模式和五种低功耗模式。在等待方式下，耗电为 0.7 μA；在节电方式下，最低可达 0.1 μA。

④ 系统工作稳定。MSP430 系列单片机默认使用内部集成的数字控制振荡器 DCO 来运

行，如果晶体振荡器在用做 CPU 时钟时发生故障，DCO 会自动启动，以保证系统正常工作；如果程序跑飞，还可以用内部集成的看门狗将其复位。

⑤ 丰富的片上外围模块。MSP430 系列单片机的各成员都集成了较丰富的片内外设。它们分别是看门狗(WDT)、模拟比较器 A、定时器 A(Timer_A)、定时器 B(Timer_B)、串口 0 和 1(USART0、1)、硬件乘法器、液晶驱动器、10 位/12 位 ADC、I^2C 总线直接数据存取(DMA)、端口 0(P0)、端口 1～6(P1～P6)、基本定时器(Basic Timer)等的一些外围模块的不同组合。MSP430 系列单片机的这些片内外设，为简化系统设计提供了极大的方便。

⑥ 方便高效的开发环境。目前，MSP430 系列有 OPT 型、Flash 型和 ROM 型三种类型的器件，这些器件的开发手段不同。对于 OPT 型和 ROM 型的器件，使用仿真器开发成功之后再烧写或掩膜芯片；对于 Flash 型，则有十分方便的开发调试环境，因为器件片内有 JTAG 调试接口，还有可电擦写的 Flash 存储器，因此采用先下载程序到 Flash 内，再在器件内通过软件控制程序的运行，由 JTAG 接口读取片内信息供设计者调试使用的方法进行开发。这种方式只需要一台 PC 机和一个 JTAG 调试器，而不需要仿真器和编程器。开发语言有汇编语言和 C 语言。

本书的编者长期从事单片机方面的教学工作，在多年的教学实践中感到，进行单片机的学习，不仅要掌握单片机的硬件结构、指令集和编程方法，更重要的是要学习如何使用单片机，学习用单片机去解决实际问题，因此，本书中用了大量的篇幅来介绍 MSP430 单片机的硬件设计及接口技术，并给出了多个应用实例。本书各章节内容如下：

第 1 章——微型计算机基础。简单介绍计算机中数的表示及运算，微型计算机的基本结构及程序是怎样执行的。本章主要供没有微机原理基础的读者来学习，如果有这方面的基础可以跳过。

第 2 章——单片机技术概述。简单介绍计算机体系结构一些基本概念，单片机的基本概念、特点、应用场合和发展趋势，以及 MSP430 系列单片机的概况。

第 3 章——MSP430 单片机硬件结构及原理。介绍 MSP430 单片机最核心的硬件结构，包括中央处理器、存储器、时钟模块、中断系统等。

第 4 章——MSP430 单片机指令系统与程序设计。介绍 MSP430 单片机寻址方式、指令系统、汇编语言程序设计、C 语言程序设计、C 语言和汇编语言混合编程，以及 IAR Embedded Workbench 开发工具。

第 5 章——MSP430 单片机片内外设及其应用。介绍 MSP430 片内外设的基本原理和简单应用，包括通用 I/O 端口、定时器、硬件乘法器、Flash 存储器、比较器 A、DMA 控制器、通用串行通信、模/数转换、数/模转换等模块。

第 6 章——MSP430 单片机硬件设计及接口技术。介绍 MSP430F149 单片机最小系统、电平转换电路、显示器件接口、键盘接口、存储器接口、串行通信接口、模拟 I^2C 总线、1－wire 器件接口、实时时钟芯片 DS1302 接口、功率接口等，并简单介绍了 MSP430 单片机的抗干扰

需要全本请访问 www.ertongbook.com

技术。

第 7 章——MSP430 单片机应用系统设计实例。介绍了单片机应用系统设计的一般方法，以及几个应用的例子。

附录 A——MSP430 指令速查表。

附录 B——MSP430x1xx 模块空间分配。

附录 C——MSP430x14x.h 头文件。

附录 D——并口 JTAG 仿真器原理图。

附录 E——ASCII 字附表。

附录 F——中文字附表。

本书第 1、2、3、5 章由洪利执笔，第 4、7 章由章扬执笔，第 6 章由李世宝执笔。洪利和章扬负责规划、内容安排、修改与定稿。本书在编写过程中得到中国石油大学嵌入式移动通信实验室李世宝、蔡丽萍、王国强、徐顺杰、王肯生、朱华、历康、孔慧娟、刘盈的大力帮助，同时中国石油大学通信工程系 06 级刘贝贝、吕敬伟、曹忠玺、王松、赵鲁波、马良等同学也为本书做出了重要贡献，在此表示感谢。同时感谢北京航空航天大学出版社的大力支持，使本书得以顺利出版。

由于作者水平有限，书中疏忽、不恰当甚至错误之处，恳请各位老师及同行指正。

编　者

2009 年 9 月于中国石油大学(华东)青岛校区

目　录

第 1 章　微型计算机基础 …… 1

1.1　计算机中数的表示及运算 …… 1
1.1.1　二进制、十进制、十六进制数的表示及转换 …… 1
1.1.2　二进制和十六进制数的运算 …… 6
1.1.3　计算机中数和字符的表示 …… 7
1.1.4　几种基本逻辑运算 …… 10
1.2　微型计算机概述 …… 11
1.2.1　微型计算机的基本结构 …… 11
1.2.2　指令程序和指令系统 …… 12
1.2.3　CPU 的结构与功能 …… 13
1.2.4　存储器的结构和功能 …… 15
1.2.5　程序的执行过程 …… 16
1.2.6　程序执行过程举例 …… 16
1.2.7　CPU 对外设的操作及举例 …… 22

第 2 章　单片机技术概述 …… 24

2.1　计算机体系结构介绍 …… 24
2.1.1　基本概念 …… 25
2.1.2　存储器 …… 31
2.1.3　输入/输出 …… 33
2.1.4　嵌入式计算机体系结构 …… 34
2.2　单片机的概念与特点 …… 35
2.3　单片机的应用 …… 36
2.4　单片机的发展趋势 …… 36
2.5　主流单片机 …… 37
2.6　MSP430 系列单片机 …… 38

第 3 章　MSP430 单片机硬件结构及原理 …… 40

3.1　MSP430x14x 结构概述 …… 40
3.2　MSP430x14x 的主要特性和外部引脚 …… 41
3.2.1　MSP430x14x 的主要特性 …… 41
3.2.2　MSP430x14x 引脚功能 …… 42
3.3　MSP430 单片机的中央处理器 …… 45
3.4　MSP430 单片机的存储器结构 …… 49
3.4.1　MSP430 存储空间结构 …… 50
3.4.2　数据存储器 RAM …… 50
3.4.3　程序存储器 ROM …… 51
3.4.4　外围模块寄存器 …… 52
3.5　MSP430 单片机时钟模块与低功耗结构 …… 53
3.5.1　MSP430 系列单片机时钟模块 …… 54
3.5.2　低速晶体振荡器 …… 55
3.5.3　高速晶体振荡器 …… 56
3.5.4　DCO 振荡器 …… 56
3.5.5　振荡器失效检测 …… 60
3.5.6　基础时钟模块应用举例 …… 61
3.5.7　低功耗结构 …… 63
3.6　系统复位和初始化 …… 65
3.6.1　系统上电复位 …… 66
3.6.2　系统复位后器件的初始状态 …… 66
3.7　中断系统 …… 67
3.7.1　不可屏蔽中断 NMI …… 67
3.7.2　可屏蔽中断 …… 69
3.7.3　中断处理 …… 69

第 4 章　MSP430 单片机指令系统与程序设计 …… 71

4.1　寻址方式 …… 71
4.2　指令系统 …… 74
4.2.1　指令系统概述 …… 74
4.2.2　数据传送类指令 …… 75
4.2.3　数据运算指令 …… 77

4.2.4 逻辑操作指令…… 84
4.2.5 位操作指令…… 90
4.2.6 跳转与程序流程的控制类指令…… 92
4.3 汇编语言程序设计…… 98
4.3.1 MSP430 程序设计的基本流程 …… 98
4.3.2 汇编语言伪指令…… 99
4.3.3 常用的汇编程序结构 …… 101
4.3.4 汇编语言程序设计举例 …… 104
4.4 C 语言程序设计 …… 107
4.4.1 MSP430 C 语言的数据类型 …… 107
4.4.2 MSP430 C 语言的控制语句 …… 109
4.4.3 MSP430 C 语言的函数 …… 110
4.4.4 MSP430 C 语言本征函数 …… 111
4.4.5 MSP430 C 语言编程的一般结构 …… 112
4.4.6 C 语言程序举例 …… 112
4.5 MSP430 C 语言和汇编语言混合编程 …… 113
4.5.1 IAR C 语言编译器的参数传递规则 …… 114
4.5.2 对汇编语言函数的约定 …… 114
4.5.3 混合编程 …… 115
4.5.4 程序举例 …… 115
4.6 MSP430 开发工具简介 …… 118
4.6.1 硬件环境 …… 118
4.6.2 IAR Embedded Workbench 简介 …… 119

第 5 章 MSP430 单片机片内外设及其应用 …… 134

5.1 通用 I/O 端口 …… 134
5.1.1 MSP430 端口概述 …… 134
5.1.2 端口 P1 和 P2 …… 135
5.1.3 端口 P3、P4、P5 和 P6 …… 137
5.1.4 端口 COM 和 S …… 137
5.1.5 端口的应用 …… 137
5.2 定时器 …… 139
5.2.1 看门狗定时器 …… 139
5.2.2 16 位定时器 A …… 143

需要全本请访问 www.ertongbook.com

5.2.3 16 位定时器 B …… 166
5.3 硬件乘法器 …… 173
5.3.1 硬件乘法器的结构 …… 173
5.3.2 硬件乘法器的寄存器 …… 175
5.3.3 硬件乘法器的应用 …… 175
5.4 Flash 存储器 …… 175
5.4.1 Flash 存储器的结构 …… 176
5.4.2 Flash 存储器的组织 …… 176
5.4.3 Flash 存储器的寄存器 …… 177
5.4.4 Flash 存储器的操作 …… 179
5.4.5 Flash 模块操作举例 …… 183
5.5 比较器 A …… 185
5.5.1 比较器 A 的结构 …… 186
5.5.2 比较器 A 的寄存器 …… 187
5.5.3 比较器 A 的中断 …… 189
5.5.4 比较器 A 应用举例 …… 189
5.6 DMA 控制器 …… 190
5.6.1 DMA 控制器的结构与功能 …… 190
5.6.2 DMA 控制器的寄存器 …… 192
5.6.3 DMA 控制器的操作 …… 195
5.6.4 DMA 控制器操作举例 …… 205
5.7 通用串行通信模块的异步模式 …… 207
5.7.1 异步通信的结构 …… 208
5.7.2 异步通信寄存器 …… 208
5.7.3 异步操作 …… 215
5.7.4 异步通信举例 …… 225
5.8 通用串行通信模块的同步模式 …… 227
5.8.1 同步通信的结构 …… 228
5.8.2 同步通信寄存器 …… 229
5.8.3 同步通信操作 …… 232
5.8.4 同步通信举例 …… 239
5.9 通用串行通信模块的 I^2C 模式 …… 243
5.9.1 I^2C 的结构 …… 244
5.9.2 I^2C 模块寄存器 …… 245

5.9.3 I^2C 模块操作 …… 252
5.9.4 I^2C 通信举例 …… 264
5.10 MSP430 模/数转换模块 …… 266
5.10.1 ADC12 的结构 …… 267
5.10.2 ADC12 的寄存器 …… 269
5.10.3 ADC12 模块操作 …… 274
5.10.4 ADC12 应用举例 …… 283
5.11 MSP430 数/模转换模块 …… 288
5.11.1 DAC12 的结构 …… 288
5.11.2 DAC12 的寄存器 …… 290
5.11.3 DAC12 的操作 …… 292
5.11.4 DAC12 应用举例 …… 295

第 6 章 MSP430 单片机硬件设计及接口技术 …… 297

6.1 MSP430F149 单片机最小系统设计 …… 297
6.1.1 单片机电源电路设计 …… 298
6.1.2 复位电路设计 …… 300
6.1.3 时钟电路设计 …… 302
6.1.4 JTAG 接口电路设计 …… 302
6.2 电平转换电路设计 …… 304
6.2.1 逻辑电平不同,接口时出现的问题 …… 304
6.2.2 输入端 ESD 保护电路 …… 304
6.2.3 CMOS 器件输出端保护电路 …… 305
6.2.4 各种电平的转换标准 …… 306
6.2.5 MSP430 与 5 V 电平接口的 4 种情形 …… 306
6.2.6 3.3 V 与 5 V 电平转换 …… 307
6.2.7 MSP430 与串口接口问题 …… 307
6.3 MSP430 单片机显示器件接口设计 …… 308
6.3.1 MSP430 单片机与发光二极管接口 …… 308
6.3.2 MSP430 单片机与数码管接口 …… 310
6.3.3 MSP430 单片机与点阵 LED 的接口 …… 316
6.3.4 MSP430 单片机与图形液晶显示模块的接口 …… 323
6.4 MSP430 单片机键盘接口设计 …… 343
6.4.1 独立按键式键盘 …… 343

6.4.2 行列扫描式键盘 …… 346
6.4.3 $N\times(N-1)$型键盘 …… 349
6.5 MSP430 单片机与存储器的接口设计 …… 352
6.5.1 MSP430 与静态存储器 SRAM 的接口 …… 352
6.5.2 MSP430 单片机与动态存储器的接口 …… 357
6.6 MSP430 单片机串行通信接口 …… 362
6.6.1 RS-232 串口通信 …… 363
6.6.2 RS-485 串口通信 …… 365
6.6.3 M-Bus 通信 …… 367
6.7 使用口线模拟 I^2C 总线操作 …… 372
6.7.1 I^2C 协议原理 …… 372
6.7.2 24LC01B 的操作 …… 375
6.8 MSP430 单片机与 1-wire 器件的接口 …… 384
6.8.1 1-wire 总线操作 …… 385
6.8.2 MSP430 单片机与触击式串行存储卡 DS1990A 的接口 …… 389
6.8.3 MSP430 单片机与温度传感器 DS18B20 的接口 …… 391
6.9 MSP430 单片机与实时时钟芯片 DS1302 的接口设计 …… 396
6.9.1 DS1302 的结构及工作原理 …… 396
6.9.2 MSP430F149 与 DS1302 的接口设计 …… 399
6.10 MSP430 单片机的功率接口技术 …… 401
6.10.1 晶闸管驱动接口 …… 402
6.10.2 继电器型驱动接口 …… 406
6.10.3 直流电机驱动接口 …… 407
6.11 MSP430 单片机的抗干扰技术 …… 410
6.11.1 干扰的来源与分类 …… 410
6.11.2 单片机系统软件的抗干扰 …… 411
6.11.3 单片机系统中硬件抗干扰设计 …… 414

第 7 章 MSP430 单片机应用系统设计实例 …… 417

7.1 单片机应用系统方案设计 …… 417
7.2 基于 MSP430F149 的贪吃蛇游戏机 …… 420
7.2.1 系统硬件结构 …… 420
7.2.2 系统软件结构 …… 420
7.3 基于 MSP430F149 的 FSK 调制解调器 …… 437

7.3.1 FSK 调制原理 …… 438
7.3.2 基于 MSP430F149 单片机的 FSK 调制解调器的具体实现 …… 438
7.4 基于 MSP430F149 的嵌入式 Web Server 服务器 …… 447
7.4.1 TCP/IP 体系结构模型 …… 447
7.4.2 以太网控制器 CS8900A …… 449
7.4.3 嵌入式 Web Server 的硬件设计 …… 450
7.4.4 嵌入式 Web Server 的软件设计 …… 451
7.5 基于 MSP430F149 的重质油评价装置控制系统 …… 456
7.5.1 系统结构 …… 456
7.5.2 硬件电路结构 …… 457
7.5.3 软件设计 …… 459
7.6 嵌入式实时操作系统 μC/OS-II 在 MSP430F149 上的移植 …… 461
7.6.1 μC/OS-II 概述 …… 461
7.6.2 μC/OS-II 的文件结构 …… 461
7.6.3 移植的具体实现 …… 462

附录 A MSP430 指令速查表 …… 470

附录 B MSP430x1xx 模块空间分配 …… 472

附录 C MSP430x14x.h 头文件 …… 487

附录 D 并口 JTAG 仿真器原理图 …… 515

附录 E ASCII 字符表 …… 516

附录 F 中文字符表 …… 517

参考文献 …… 522

第 1 章

微型计算机基础

在介绍嵌入式系统与单片机的具体知识之前，先来简单介绍一些微型计算机的基础知识，包括计算机中数的表示及运算和微型计算机的基本结构等。如果读者有微型计算机原理的基础可以略过本章，直接进入第 2 章的学习。

1.1 计算机中数的表示及运算

在计算机程序设计中经常使用的数有二进制、十进制、八进制、十六进制。十进制数是人们习惯的数制，但所有的计算机都采用二进制。八进制和十六进制数只是二进制的简略表示形式。例如，在汇编语言的编程时，经常采用十六进制表示二进制数。

1.1.1 二进制、十进制、十六进制数的表示及转换

1. 二进制数

进位计数制是一种计数的方法，最常用的是十进制计数法。一个任意的十进制数可以表示为

$$a_n a_{n-1}\cdots a_i\cdots a_0.b_1 b_2\cdots b_j\cdots b_m$$

其含义是：$a_n\times10^n+a_{n-1}\times10^{n-1}+\cdots+a_0\times10^0+b_1\times10^{-1}+b_2\times10^{-2}+\cdots+b_m\times10^{-m}$。

其中，$a_i(i=0,1,\cdots,n)$，$b_j(j=0,1,2,\cdots,m)$是 0～9 十个数码中的一个。

十进制的基数为 10，即数码的个数为 10，且遵循逢十进一的规则。上式中对应于每一位数字的 10^k 称为该位的权。因此，每位数字与其权之积的和即为所表示数的值。例如：

$$43\ 210.12=4\times10^4+3\times10^3+2\times10^2+1\times10^1+0\times10^0+1\times10^{-1}+2\times10^{-2}$$

十进制数是人们最熟悉的一种数制，但它不是唯一的数制。例如，计时用的时、分、秒是按 60 进制计数，天、时按 24 进制计数。基数为 r 的 r 进制数的值可以表示为

$$a_n\times r^n+a_{n-1}\times r^{n-1}+\cdots+a_0\times r^0+b_1\times r^{-1}+b_2\times r^{-2}+\cdots+b_m\times r^{-m}$$

其中，$a_i(i=0,1,\cdots,n)$，$b_j(j=0,1,2,\cdots,m)$是 0，1，2，…，$r-1$ 中的任意一个，r^k 称各位数

相应的权。

计算机中为了便于存储和计算，采用了二进制数。二进制的基数为 2，只有 0，1 两个数码，并遵循逢二进一的规则，各位的权以 2^k 来表示，因此，二进制数 $a_n a_{n-1}\cdots a_0 . b_1 b_2 \cdots b_m$ 的值为

$$a_n \times 2^n + a_{n-1} \times 2^{n-1} + \cdots + a_0 \times 2^0 + b_1 \times 2^{-1} + b_2 \times 2^{-2} + \cdots + b_m \times 2^{-m}$$

其中，$a_i (i=0,1,\cdots,n)$，$b_j (j=0,1,2,\cdots,m)$ 是 0，1 两个数码中的一个。例如：

$$101101_2 = 1\times 2^5 + 0\times 2^4 + 1\times 2^3 + 1\times 2^2 + 0\times 2^1 + 1\times 2^0 = 45_{10}$$

其中，数的下标表示该数的基数 r，即二进制的 101101 与十进制的 45 相等。

N 位二进制数可以表示 2^n 个数。例如 3 位二进制数可以表示 8 个数

$000_2 = 0_{10}$　　$001_2 = 1_{10}$　　$010_2 = 2_{10}$　　$011_2 = 3_{10}$

$100_2 = 4_{10}$　　$101_2 = 5_{10}$　　$110_2 = 6_{10}$　　$111_2 = 7_{10}$

而 4 位二进制数可以表示 16 个数

$0000_2 = 0_{10}$　　$0001_2 = 1_{10}$　　$0010_2 = 2_{10}$　　$0011_2 = 3_{10}$

$0100_2 = 4_{10}$　　$0101_2 = 5_{10}$　　$0110_2 = 6_{10}$　　$0111_2 = 7_{10}$

$1000_2 = 8_{10}$　　$1001_2 = 9_{10}$　　$1010_2 = 10_{10}$　　$1011_2 = 11_{10}$

$1100_2 = 12_{10}$　　$1101_2 = 13_{10}$　　$1110_2 = 14_{10}$　　$1111_2 = 15_{10}$

为了便于人们阅读及书写，经常使用八进制数或十六进制数来表示二进制数。它们的基数和数码，如表 1－1 所列。

表 1－1　几种常用的进位计数制的基数和数码

进位计数制	基　数	数　码
十六进制数	16	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F
十进制数	10	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
八进制数	8	0,1,2,3,4,5,6,7
二进制数	2	0,1

因此，4 位二进制数与十六进制数的对应关系为

$0000_2 = 0_{16}$　　$0001_2 = 1_{16}$　　$0010_2 = 2_{16}$　　$0011_2 = 3_{16}$

$0100_2 = 4_{16}$　　$0101_2 = 5_{16}$　　$0110_2 = 6_{16}$　　$0111_2 = 7_{16}$

$1000_2 = 8_{16}$　　$1001_2 = 9_{16}$　　$1010_2 = A_{16}$　　$1011_2 = B_{16}$

$1100_2 = C_{16}$　　$1101_2 = D_{16}$　　$1110_2 = E_{16}$　　$1111_2 = F_{16}$

由于下标书写不便，通常用数码后面加一个英文字母来表示该数的进制。十进制用 D 或 d(decimal)，二进制用 B 或 b(binary)，八进制用 O 或 o(octal)，十六进制用 H 或 h(hexadecimal)来表示。例如 117D，1101101B，0A07H 等。

2. 二进制与十进制的转换

(1) 二进制数转换为十进制数

各位二进制数码乘以与其对应的权之和即转换成了相应的十进制数。例如：

$$1011100.10111B=2^6+2^4+2^3+2^2+2^{-1}+2^{-3}+2^{-4}+2^{-5}=92.71875D$$

(2) 十进制数转换为二进制数

十进制转换为二进制数的方法很多，在此介绍比较简单的降幂法和除法。

1) 降幂法

首先写出要转换的十进制数，其次写出所有小于此数的各位二进制的权值，然后用要转换的十进制数减去与它最接近的二进制权值，如果够减则减去并在相应位记 1；如果不够减，则在相应位记 0 并跳过此位；减后的余数与下一位权进行同样的减运算和位值记数，如此不断反复，直到该数为 0 为止。

例如：$N=117D$

小于 117 的二进制权值为	64	32	16	8	4	2	1
对应的二进制数为	1	1	1	0	1	0	1

要转换的十进制数 117 减去与 117 最接近的二进制权值 64，117－64 够减，所以权值 64 位记 1；余数 53 与下一权值 32 相减，53－32 够减，所以权值 32 位记 1；余数 21 与下一权值 16 位相减，21－16 够减，所以权值 16 位记 1；余数 5 与下一权值 8 位相减，5－8 不够减，所以跳过此位，不进行减运算，且权值 8 位记 0；余数 5 与下一权值 4 位相减，5－4 够减，所以权值 4 位记 1；余数 1 与下一权值 2 位相减，1－2 不够减，所以跳过此位，不进行减运算，权值 2 位记 0；余数 1 与下一权值 1 位相减，1－1＝0 正好为 0，权值为 1 位记为 1。计算过程如下：

$$117-2^6=117-64=53 \qquad (a_6=1)$$
$$53-2^5=53-32=21 \qquad (a_5=1)$$
$$21-2^4=21-16=5 \qquad (a_4=1)$$
$$5-2^3\text{不够减，跳过} \qquad (a_3=0)$$
$$5-2^2=5-4=1 \qquad (a_2=1)$$
$$1-2^1\text{不够减，跳过} \qquad (a_1=0)$$
$$1-2^0=1-1=0 \qquad (a_0=1)$$

所以，$N=117D=1110101B$

又如：$N=0.8125D$

小于 0.812 5 的二进制权值为　0.5　0.25　0.125　0.062 5

对应的二进制数是为　1　1　0　1

计算过程如下：

$$0.812\ 5-2^{-1}=0.812\ 5-0.5=0.312\ 5 \qquad (b_1=1)$$

$$0.312\ 5-2^{-2}=0.312\ 5-0.25=0.062\ 5 \qquad (b_2=1)$$

$$0.062\ 5-2^{-3}=\text{不够减，跳过} \qquad (b_3=0)$$

$$0.062\ 5-2^{-4}=0.062\ 5-0.625=0 \qquad (b_4=1)$$

所以，$N=0.812\ 5\text{D}=0.1101\text{B}$。

2）除　法

把要转换的十进制数的整数部分不断除以 2，余数即为二进制位的值，直到商为 0 为止。

例如：N＝117D

$$117/2=58 \qquad (a_0=1)$$

$$58/2=29 \qquad (a_1=0)$$

$$29/2=14 \qquad (a_2=1)$$

$$14/2=7 \qquad (a_3=0)$$

$$7/2=3 \qquad (a_4=1)$$

$$3/2=1 \qquad (a_5=1)$$

$$1/2=0 \qquad (a_6=1)$$

所以，$N=117\text{D}=1110101\text{B}$。

对于被转换的十进制数的小数部分不断乘以 2，积的整数部分即为二进制位的值，直到积的小数部分为 0 为止。

例如：N＝0.8125D

$$0.812\ 5\times2=1.625 \quad (b_1=1)$$

$$0.625\times2=1.25 \qquad (b_2=1)$$

$$0.25\times2=0.5 \qquad (b_3=0)$$

$$0.5\times2=1.0 \qquad (b_4=1)$$

所以，$N=0.812\ 5\text{D}=0.1101\text{B}$。

3. 十六进制数

计算机中存储信息的基本单位为一个二进制位(bit)，它可以用来表示 0 和 1 两个数码。此外，计算机中常用的字符采用 8 位二进制数组成的一个字节(byte)来表示，因此，字节也成为计算机中存储信息的单位。一个字节由 8 位组成，它可以用两个 4 位组(又称半字节)来表示，一个十六进制位正好表示半个字节，因此，用十六进制数表示二进制数比较方便。此外，字(word)是计算机内部进行数据传递处理的基本单位。通常它与计算机内部寄存器、运算器、

需要全本请访问 www.ertongbook.com