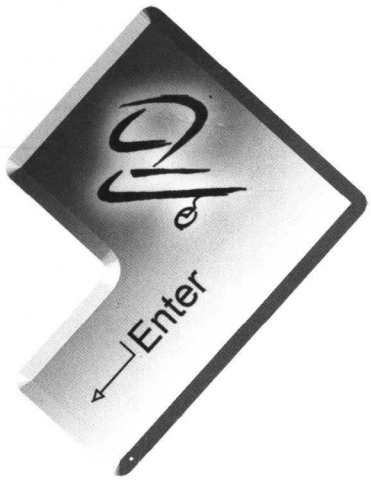
高等院校
计算机技术系列教材

汇编语言程序设计

金汉均 金 洋 编著

WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

高等院校
计算机技术系列教材



汇编语言程序设计

金汉均　金　洋　编著

WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

汇编语言程序设计/金汉均,金洋编著.—武汉:武汉大学出版社,2007.9

高等院校计算机技术系列教材

ISBN 978-7-307-05759-3

Ⅰ.汇… Ⅱ.①金… ②金… Ⅲ.汇编语言—程序设计—高等学校—教材 Ⅳ.TP313

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 124213 号

责任编辑:杨 华 黄 斌 责任校对:刘 欣 版式设计:詹锦玲

出版发行:**武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:湖北新华印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:14.25 字数:341 千字 插页:1

版次:2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-05759-3/TP·269 定价:23.00 元

总 序

进入21世纪以来，人类已步入了知识经济的时代。作为知识经济重要组成部分的信息产业已经成为全球经济的主导产业。计算机科学与技术在信息产业中占据了极其重要的地位，计算机技术的进步直接促进了信息产业的发展。在国内，随着社会主义市场经济的高速发展，国民生活水平的不断提高，尤其IT行业在国民经济中的迅猛渗透和延伸，越来越需要大量从事计算机技术方面工作的高级人才加盟充实。

另一方面，随着我国教育改革的不断深入，高等教育已经完成了从精英教育向大众化教育的转变，在校大学本科和专科计算机专业学生的人数大量增加，接受计算机科学与技术教育的对象发生了变化。我国的高等教育进入了前所未有的大发展时期，时代的进步与发展对高等教育提出了更高、更新的要求。早在2001年8月，教育部就颁发了《关于加强高等学校本科教学工作，提高教学质量的若干意见》。文件明确指出，本科教育是高等教育的主体和基础，抓好本科教学是提高整个高等教育质量的重点和关键。2007年元月，国家教育部和财政部又联合启动了“高等学校本科教学质量与教学改革工程”（以下简称“质量工程”）。“质量工程”以提高高等学校本科教学质量为目标，以推进改革和实现优质资源共享为手段，按照“分类指导、鼓励特色、重在改革”的原则，加强内涵建设，提升我国高等教育的质量和整体实力。

本科教学质量工程的启动对高等院校的从事计算机科学与技术教学的教师提出了一个新的课题：如何在新形势下培养高素质创新型的计算机专业人才，以适应于社会进步的需要，适应于国民经济的发展，增强高新技术领域在国际上的竞争力。

毋需质疑，教材建设是“本科教学质量工程”的重要内容之一。新时期计算机专业教材应做到以培养学生会思考问题、发现问题、分析问题和解决问题的实际能力为干线，以理论教学与实际操作相结合，“案例、实训”与应用问题相结合，课程学习与就业相结合为理念，设计学生的知识结构、能力结构、素质结构的人才培养方案。为了适应新形势对人才培养提出的要求，在教材的建设上，应该体现内容的科学性、先进性、思维性、启发性和实用性，突出中国学生学习计算机专业的特点和优势，做到“够用、能用、实用、活用”。这就需要从总体上优化课程结构，构造脉络清晰的课程群；精练教学内容，设计实用能用的知识点；夯实专业基础，增强灵活应用的支撑力；加强实践教学，体现理论实践的连接度，力求形成“基础课程厚实，专业课程宽新，实验课程创新”的教材格局。

提高计算机科学与技术课程的教学质量，关键是要不断地进行教学改革，不断地进行教材更新，在保证教材知识正确性、严谨性、结构性和完整性的条件下，使之能充分反映当代科学技术发展的现状和动态，使之能为学生提供接触最新计算机科学理论和技术的机会；教材内容应提倡学生进行创新性的学习和思维，鼓励学生动手能力的培养和锻炼。在这个问题上，计算机科学与技术这个领域表现得尤为突出。

正是在这种编写思想指导下，在武汉大学出版社的大力支持下，我们组织中南地区的华中科技大学、武汉大学、华中师范大学、武汉理工大学、武汉科技学院、湖北经济学院、武汉生物工程学院、信阳师范学院、咸宁职业技术学院、江门职业技术学院、广东警官干部学院、深圳技师学院等院校长期工作在教学和科研第一线的骨干教师，按照21世纪大学本科计算机科学与技术课程体系要求，反复研究写作大纲，广泛猎取相关资料，精心设计教材内容，认真勘正知识谬误。经过大家努力的工作，辛勤的劳动，这套高等院校计算机技术系列教材终于与读者见面了。我相信通过这套教材的编写和出版，能够为我国计算机科学与技术教材的建设有所贡献，能够为我国高等院校计算机专业本科教学质量的提高有所帮助，能够为更多具有高素质的、创新型的计算机专业人才的培养有所作为。

魏长华

2007年7月于武昌

前 言

汇编语言程序设计是高等学校计算机、自动化、电子、通信等专业的一门软硬件结合的语言课程，是学生学习计算机基础知识必备的语言。汇编语言是一种与机器指令一一对应的计算机原始语言，这种语言编写的程序代码效率最高，也是唯一能够利用计算机所有硬件特性并能直接进行控制的语言，在需要软硬件结合开发计算机应用系统方面，尤其是计算机底层软件的设计开发方面，汇编语言有着其他高级语言所无法代替的作用。

本书在内容的选取、概念的引入、文字的叙述以及例题和习题的选取等方面，都力求遵循面向应用、重视实践、便于学生学习的原则。全书共分五章，第一章介绍学习汇编语言程序设计所需要的基础知识，特别对 DOS 操作系统进行了介绍；第二章介绍几种寻址方式、8086/8088 指令系统以及如何应用这些指令；第三章主要介绍汇编语言中的表达式、常用的伪指令以及如何调用 DOS 中断实现 I/O 操作；第四章介绍顺序、分支、循环、子程序的程序设计方法及技巧；第五章介绍中断和中断程序设计的概念、BIOS 和 DOS 中断调用的方法。书末还附有大量实用的附录。本书并没有涉及 32 位的汇编语言，编者认为与其将两者合并在一起，不如分开来写，这样能帮助学生先建立起汇编语言的概念，学会 DOS 环境下的汇编语言程序设计，有此基础再深入到 32 位的汇编语言程序设计会比较容易。为了让读者更好地掌握汇编语言程序设计的特点，书中安排了大量的例题，希望读者用心地阅读这些例题，从中学习一些基本规律。程序设计是一门实践性很强的科学，既包含复杂的脑力劳动，又是一种富有创造性的活动。因此，读者在学习过程中应多阅读程序，多编程序，多上机实践。只有这样，才能真正掌握程序设计的方法和技巧。

本书由金汉均、金洋编著。在本书编写过程中，王晓荣、王世元做了大量文字和编辑工作。编者还要特别感谢魏长华教授、胡金柱教授的帮助，以及王彦林、刘直良、吴天真、严建林对本书的编写提供的帮助。在此，一并表示衷心感谢。

由于编著者的学识水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大同行及读者给予批评指正。同时也欢迎读者，尤其是采用本书的教师和学生，共同探讨相关教学内容、教学方法。本书作者 E-mail 地址：Jinhanjun@163.com。

编 者

2007 年 5 月于武昌桂子山

目　录

第1章 基础知识

【学习指导】 通过本章学习，读者应熟练掌握汇编语言程序设计所必备的基础知识，如汇编语言的基本概念、进位计数制、计算机中数据的表示方法、8086/8088 CPU 基本结构、寄存器结构、8086/8088 存储器结构以及 DOS 操作系统功能。要理解什么是汇编语言；熟练掌握二进制数算术和逻辑运算、十六进制数的加减法、十进制和二进制数间的转换，带符号数的二进制补码的求解，ASCII 码和 BCD 码的表示；了解 8086/8088 CPU 的结构、工作原理；熟练掌握 8086/8088 CPU 的寄存器组以及寄存器的作用，4 个常用标志（CF、OF、SF 和 ZF）的含义及判断方法；掌握内存分段，特别是 20 位物理地址是如何形成的；了解堆栈概念及 DOS 操作系统如何管理内存。

1.1 什么是汇编语言

自然语言是具有特定语音和语法等规范的、用于人类表达思想并实现相互交流的工具。人与人之间只有使用同一种语言才能进行直接交流，否则就必须通过翻译。要使计算机为人类服务，人们就必须借助某种语言与计算机进行交流，告诉计算机“做什么”，“怎么做”，计算机必须懂得这种语言，人们也必须懂得这种语言才能与计算机打交道，这种语言就是计算机程序设计语言。我们知道计算机语言有许多种类。如果在学习汇编语言之前，学习过 C 语言程序设计，那么看一看下面这段 C 语言程序：

```
main ( )
{
    int  a, b, c, sum;
    a=36; b=68; c=10;
    sum=a * b + c;
}
```

这是一个计算表达式 36×68+10 的程序代码。可以看出，C 语言与数学表示很相似，很容易书写和读懂，但它不可以直接运行，它必须经过编译，才能在计算机上运行。描述上述问题的计算机语言还有很多。

计算机程序设计语言通常分为三大类：机器语言（Machine Language）、汇编语言（Assembly Language）和高级语言（High Level Language）。其中，前两种语言与硬件密切相关的，统称为低级语言。

1.1.1 机器语言

计算机能直接识别并进行处理的是由 0、1 组成的二进制代码。构成计算机硬件本身的各个部件是基于二值逻辑的，这些部件只能识别 0 和 1 两个状态，其功能就是记忆、传输和加工二进制信息 0 或 1。计算机的工作过程就是传输和处理二进制信息的过程。

1. 机器指令

机器指令是指用二进制数编码的指令，以指示计算机所要进行的操作及操作对象（数据或数据地址）。每条机器指令控制计算机完成一个操作。机器指令由指令译码器所识别，并经过一定的时钟周期付诸实现，从而完成指令所规定的操作。

机器指令一般由操作码（Opcode）和操作数（Operand）构成。操作码指出指令所要执行的操作，如加、减、乘、除和传送等。操作数指出操作的数据对象。

2. 机器语言与指令系统

机器语言是计算机唯一能够识别的语言，只有用机器语言描述的程序，计算机才能直接执行。下面是用 Intel 8086/8088 CPU 机器语言编写的一段代码（十六进制表示）：

```
B024
B344
F6E3
050A00
```

区区几行代码，若没有注解，很少有人能直接看出它的功能就是计算表达式 $36\times68+10$ 的值。即使对 Intel 8086/8088 机器语言非常了解，也许还得借助于手册。然而，在计算机诞生的初期，人们就是这样设计程序的。

指令系统（Instruction Set）是指特定计算机上机器指令的集合。机器语言是由指令系统以及机器指令的使用规则构成的。

3. 机器语言的主要特点

机器语言主要具有下列两个特点：

➢ 机器语言与机器密切相关。

机器语言与计算机的 CPU、内存管理机制和 I/O 机制有着十分密切的关系。通常，不同型号 CPU 的指令系统往往有较大差异，但同一系列 CPU 的指令系统常常具有向上兼容性，即较高级别的 CPU 指令系统是较低级别 CPU 指令系统的超集。例如，Intel 80486 指令系统包含 80386 指令系统。

➢ 用机器语言设计程序非常困难，但容易实现高性能。

正是与机器的密切相关性，使用机器语言设计程序能最大限度地利用和发挥计算机的硬件功能和优势，容易得到时间和空间上的最优代码。然而，这种代码可移植性差，不仅难以理解和掌握，而且不易调试和维护，其开发效率也很低，难以胜任大型软件的开发需要。

1.1.2 汇编语言

为了克服机器语言难以记忆、表达和阅读的缺点，人们将机器指令符号化，以直观、便于记忆的符号来表示机器指令，这些符号被称为指令助记符（Memonic）。例如，用ADD表示加法指令，MOV表示传送指令，MUL表示乘法指令等。

以助记符描述的指令称为汇编格式指令或符号指令，通常简称指令。指令和伪指令的集合及其程序设计规则便构成了汇编语言。伪指令的概念将在第3章介绍。用汇编语言编写的程序就是汇编语言源程序。

利用汇编语言，计算表达式36×68+10的程序代码如下：

```
MOV   AL，36
MOV   BL，68
MUL   BL
ADD   AX，10
```

显然，用汇编语言编写的程序要比机器代码更易理解。

然而，汇编语言仅仅是机器语言的符号化，每条汇编语言指令均对应唯一的机器指令，因而与机器语言并无本质区别，即具有机器语言“与机器的密切相关性”等特点，只是在直观和记忆方面有了改进。

1. 汇编与汇编器

由于计算机只能识别机器语言，故用汇编语言编写的源程序必须被翻译成机器语言后，方可执行。把汇编语言源程序翻译成机器语言描述的目标程序的过程称为汇编。完成汇编任务的程序称为汇编器（Assembler）或汇编程序。

汇编器的主要功能是对汇编语言源程序进行语法检查，并生成相应的目标文件（.obj文件）。汇编器类似于高级语言的编译器（Compiler）。

2. 连接与连接器

虽然目标文件已是机器语言程序，是二进制代码文件，但还不能直接运行，需要经过连接器（Linker，或称连接程序）将它与其他目标文件或库文件连接在一起，生成可执行文件（.exe文件）后，方可在计算机上运行。连接器的主要功能是实现多个目标文件及库文件的连接，并完成浮动地址的重定位。

从汇编语言源程序到可执行程序的生成过程如图1-1所示。

图1-1 汇编与连接过程

1.1.3 高级语言

虽然汇编语言较机器语言在记忆和直观性等方面有了很大改进，但并无本质上的飞跃。人们迫切希望有一种更接近自然语言或数学表达形式的程序设计语言，使程序设计工作能避开与机器硬件相关的细节，而着重于解决问题的算法本身，因此便产生了高级语言。例如，可以在程序中直接使用表达式 36 * 68+10。目前，常用的高级语言有数十种，如 Pascal、C、C++、Basic、Java 等。

高级语言在程序设计的简易性与代码的可移植性等方面有了质的提高。当然，用高级语言编写的源程序必须经过编译和连接，将其转换为可执行程序或借助于解释程序方可运行。

1.1.4 学习汇编语言的优势

高级语言简单、易学且开发效率高，而汇编语言复杂、难懂、开发效率低。那么，为什么还要学习和使用汇编语言呢？这是因为汇编语言在某些方面具有高级语言无法比拟的独特优势。

1. 用汇编语言容易得到高时空效率的程序

由于汇编语言本质上就是机器语言，可直接、有效地控制计算机硬件，因而与高级语言相比，容易得到运行速度快、执行代码短、占用内存空间少的高时空效率的目标程序。

2. 用汇编语言能设计出高级语言无法实现的程序

正是由于与机器的密切相关性，使得汇编语言能充分利用计算机的硬件特性，编写出与硬件紧密相关而高级语言又无法实现的程序。

因此，汇编语言的意义可归纳为如下四个方面：

- 速度：对于同一个问题，用汇编语言设计出的程序能达到“运行速度最快”。
- 空间：对于同一个问题，用汇编语言设计出的程序能达到“占用空间最少”。
- 功能：汇编语言可以实现高级语言难以胜任甚至不能完成的任务。
- 知识：掌握汇编语言知识，有助于加深对计算机系统特别是程序执行逻辑的理解，有助于写出更好的高级语言程序来。很难想象，一个没有汇编语言知识的程序员能写出高质量的程序来。至少对于计算机专业人员来说，汇编语言是非常重要的。

当然，我们不能期望用汇编语言开发大型的应用软件系统，而应尽可能扬长避短。汇编语言正是由于其“面向机器”的特点，广泛用于高性能软件的开发中，例如，操作系统的核心代码要求有快速响应的实时系统等。

虽然汇编语言不具有通用性，不同类型 CPU 的指令系统可能有较大差异，但其原理和方法是具有普遍性的。只要熟练掌握一种汇编语言，再学习其他汇编语言就相当容易了。

1.2 进位计数制及不同数制间转换

进行数值计算是电子计算机最基本的功能之一。同一数值采用不同的计数制，其表示形式是不同的。因此，首先必须搞清各种计数制。

1.2.1 什么是进位计数制?

进位计数制是指用一组固定的数字符号和统一的规则表示数的方法。广义地说，一种进位计数制包含着基数和位权两个基本因素。

基数是指计数制中所使用的数字符号的个数。在基数为 R 的计数制中，包含 0，1，…，$R-1$ 共 R 个数字符号，数字符号也称为数码，进位规律是“逢 R 进一”，称为 R 进位计数制，简称 R 进制。例如人们习惯使用的十进制，是采用 0～9 这 10 个数字表示的，它的基数是 10。

在一个数中，数字在不同的数位所代表的值是不同的，每个数字所表示的数值等于它本身乘以与所在数位有关的常数，这个常数称为位权，简称为权。不同数位有不同的位权，R 进制数的位权是 R 的整数次幂。例如十进制数个位的位权是 1，十位的位权是 10，百位的位权是 100，千位的位权是 1000……相邻两位权的比值就等于基数。一个数的数值大小就等于它的各位数码乘以相应位权的总和。

【例 1-1】 十进制数 $37808=3\times10000+7\times1000+8\times100+0\times10+8\times1$

1.2.2 计算机中常用的进位计数制

人们最熟悉、最常用的是十进制的数。然而为便于存储及计算的物理实现，计算机采用二进制。但是，二进制书写太冗长，而人们习惯的十进制又与二进制的计算机系统不相吻合。为了方便阅读、书写及记忆，计算机中特别是汇编语言中使用了八进制或十六进制。为了区分各种不同进制数，常在数的结尾以一个字母表示来区分。其中，十进制数书写时结尾用 D (Decimal)，二进制数用 B (Binary)，十六进制数用 H (Hexadecimal)，八进制数用 O (Octal) 表示，缺省为十进制数。不同进制的数码、基数和位权的关系如表 1-1 所示。

表 1-1 常用进位计数制的基数、数码和位权

数制	数 码	基	位权									
			a^n	a^{n-1}	…	a^1	a^0	.	a^{-1}	a^{-2}	…	a^{-m}
十进制	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9	10	10^n	10^{n-1}	…	10^1	10^0		10^{-1}	10^{-2}	…	10^{-m}
二进制	0,1	2	2^n	2^{n-1}	…	2^1	2^0		2^{-1}	2^{-2}	…	2^{-m}
八进制	0,1,2,3,4,5,6,7	8	8^n	8^{n-1}	…	8^1	8^0		8^{-1}	8^{-2}	…	8^{-m}
十六进制	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F	16	16^n	16^{n-1}	…	16^1	16^0		16^{-1}	16^{-2}	…	16^{-m}

1.2.3 不同进位计数制之间的转换

数制间转换是指一个数从一种数制的表示形式转换成等值的另一种数制的表示形式。数制转换的方法大致有多项式替代法和基数乘除法。

1. 二进制数、八进制数、十六进制数转换成十进制数

非十进制数转换成十进制数可采用多项式替代法：各位数字与基数幂之和的展开。

➢ 二进制转成十进制数。

【例 1-2】 $(101011.011)_2=1\times2^5+0\times2^4+1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0+0\times2^{-1}+1\times2^{-2}+1\times2^{-3}=(43.375)_{10}$

即：101011.011B=43.375D

➢ 八进制转成十进制数。

【例 1-3】 $(436.7)_8=4\times8^2+3\times8^1+6\times8^0+7\times8^{-1}=256+24+6+0.875=(286.875)_{10}$

即：436.7O=286.875D

➢ 十六进制转成十进制数。

【例 1-4】 $(A3.C)_{16}=10\times16^1+3\times16^0+12\times16^{-1}=160+3+0.75=(163.75)_{10}$

即：A3.CH=163.75D

2. 十进制数转换成二进制数

➢ 十进制整数转换成二进制整数。

十进制整数转换成二进制整数采用除基数（二进制的基数为 2）法。

某一十进制整数 $(A)_{10}$ 总可以表示成一个二进制形式的整数 $(a_na_{n-1}\cdots a_0)_2$，将它按 2 的幂展开有：

$(A)_{10}=(a_na_{n-1}\cdots a_0)_2=a_n\times2^n+a_{n-1}\times2^{n-1}+\cdots+a_0\times2^0$ （其中 a_i 为 0 或 1）

把十进制整数转换成二进制形式就是求系数 a_n，a_{n-1}，…，a_0 的过程。等式两边同除 2，

$$(A)_{10}/2=a_n\times2^{n-1}+a_{n-1}\times2^{n-2}+\cdots+a_0\times2^{-1}$$

若除得尽，余数=0，表示 $a_0=0$；否则 $a_0=1$。求出最低位 a_0 后，对整商继续除 2，余数求出 a_1……直至求出二进制整数的最高位非零数字 a_n。

【例 1-5】 $(215)_{10}=?$

2 ⌊ 215

2 ⌊ 107 余 1→a_0

2 ⌊ 53 余 1→a_1

2 ⌊ 26 余 1→a_2

2 ⌊ 13 余 0→a_3

2 ⌊ 6 余 1→a_4

2 ⌊ 3 余 0→a_5

$$2 \lfloor \underline{\quad 1 \quad} \quad \text{余 } 1 \rightarrow a_6$$
$$0 \quad \text{余 } 1 \rightarrow a_7$$

得：$(215)_{10} = (11010111)_2$

十进制整数换成二进制整数的方法就是“除 2 取余法”。注意，最先得到的数字是最低位的系数，最后得到的是最高位的系数。

➢ 十进制小数转换成二进制小数。

十进制小数转换成二进制小数采用乘基数法。

某一十进制小数 $(B)_{10}$ 总可以表示成一个二进制小数形式 $(0.b_1b_2b_3\cdots b_{m-1}b_m)_2$，将它按 2 的幂展开有：

$$(B)_{10} = (0.b_1b_2b_3\cdots b_{m-1}b_m)_2$$
$$= b_1\times 2^{-1} + b_2\times 2^{-2} + b_3\times 2^{-3} + \cdots + b_{m-1}\times 2^{-(m-1)} + b_m\times 2^{-m}$$

等式的两边同乘 2 得：

$$(B)_{10}\times 2 = b_1\times 2^0 + b_2\times 2^{-1} + b_3\times 2^{-2} + \cdots + b_{m-1}\times 2^{-m+2} + b_m\times 2^{-m+1}$$

整数部分即为 b_1，$(B)_{10}\times 2$ 后的小数部分再乘 2 取整可得 b_2……采用“乘 2 取整法”即将十进制的小数转换成二进制小数。

【例 1-6】 $(0.653)_{10} = ?$

$$\begin{array}{r} 0.653 \\ \times \quad 2 \\ \hline \underline{1}.306 \end{array} \qquad b_1 = 1$$

$$\begin{array}{r} 0.306 \\ \times \quad 2 \\ \hline \underline{0}.612 \end{array} \qquad b_2 = 0$$

$$\begin{array}{r} 0.612 \\ \times \quad 2 \\ \hline \underline{1}.224 \end{array} \qquad b_3 = 1$$

$$\begin{array}{r} 0.224 \\ \times \quad 2 \\ \hline \underline{0}.448 \end{array} \qquad b_4 = 0$$

$$\begin{array}{r} 0.448 \\ \times \quad 2 \\ \hline \underline{0}.896 \end{array} \qquad b_5 = 0$$

$$\begin{array}{r} 0.896 \\ \times \quad 2 \\ \hline \underline{1}.792 \end{array} \qquad b_6 = 1$$

若取精度保留小数点后 5 位，对小数点后的第 6 位进行“0 舍 1 入”，则有

$$(0.653)_{10} = (0.10101)_2$$

若某一十进制数既有整数部分，又有小数部分，将其转换成二进制数只要将整数部分与小数部分分别转换，用小数点连接起来即可。例如：

$$(215.653)_{10} = (11010111.10101)_2$$

3. 二进制数与八进制、十六进制数之间的转换

三位二进制所能描述的八种状态，正好用来表示八进制中的 8 个不同的字符。三位二