

C⁺⁺语言和面向对象程序设计

(第二版)

宛延 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

C++ 程序设计语言和面向对象程序设计代表了旨在使计算机问题解更符合人的思维活动,这是一场软件开发方法的革命。面向对象模型和面向对象设计与实现对软件开发起着关键作用。全书共分十章。第一章概论;第二、三章是 C 到 C++ 的过渡;第四章是 C++ 环境中的 C;第五、六、七章分别介绍了数据封装和隐藏、继承和导出类、多态性和虚拟函数;第八、九章分别介绍面向对象模型和面向对象设计与实现;第十章分两大部分:第一部分介绍面向对象设计与实现的两个典型实例分析;第二部分给出综合的四个有代表性的 C++ 和面向对象典型实例分析。

本书由浅入深地围绕面向对象的主要特征为主干线,通过大量典型实例循序渐进地介绍 C++ 语言、面向对象模型、面向对象设计与实现,以及面向对象程序设计。是大专院校学生、硕士生以及博士生的教科书,适用于广大软件工作者,也是学习 C++ 及面向对象方法的科技工作者较全面的参考书,同时本书也可作为现代软件工程课程和软件开发方法的补充教材。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

C++ 语言和面向对象程序设计/宛延 编著 .—2 版 .—北京:清华大学出版社, 1997.12

ISBN 7-302-02794-3

.C... .宛... .C++ 语言和面向对象程序设计 .TP 312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 26244 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研楼,邮编 100084)

[http:// www .tup .tsinghua .edu .cn](http://www.tup.tsinghua.edu.cn)

责任编辑: 贾仲良

印 刷 者: 清华大学印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京科技发行所

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 22.75 字数: 538 千字

版 次: 1998 年 3 月第 2 版 2000 年 7 月第 8 次印刷

书 号: ISBN 7-302-02794-3/ TP·1459

印 数: 83001 ~ 98000

定 价: 24.00 元

第 一 版 序 言

面向对象问题解和面向对象程序设计代表了新颖的计算机程序设计方法和思维方法,此方法与通常的结构程序设计方法十分不同。面向对象语言具有一个强有力的特征:支持一种旨在使得计算机问题解能更符合人的思维活动的概念。人们能够利用C++语言充分挖掘硬件潜在能力,并能在减少开销的前提下,提供更强有力的软件开发工具。

C++是一种混合性语言,它既具有独特的面向对象特征,又保留传统的高效结构语言C的主要特征。C++提供给程序开发者的面向对象能力,而又不失去内存运行效率,并能在普通计算机硬件上产生高质量的软件产品。

C++早在1980年就由AT&T贝尔实验室开发,迄今仍在演变中。C++是包含支持面向对象程序设计和C的一个超集,C++面向对象语言全面支持数据抽象、数据封装、继承性和多态性,C++语言比支持面向对象语言Ada和Modula-2更前进了一大步,并保留了C程序设计语言(编写UNIX操作系统的主语言)的简洁性和高效性,C++语言代替C语言是肯定的事情,特别在大型程序设计软件项目和大型软件系统方面,而且在中、小微机和超级微机上也都适用。

本书的所有概念均通过许多细致的结构以及充分的测试程序而得阐明。经验告诉我们:一个好的优选的典型实例能帮助读者澄清与C++的高级特征和面向对象程序设计相关的困难概念,事实上,典型实例本身允许读者通过在实际应用中的理解和研究,更深刻了解C++和面向对象问题解及其优越之点。

鉴于编者水平有限,错误之处在所难免,欢迎同行给以批评指正。

希望本书能对我国软件开发和新的程序设计方法的革新方面起抛砖引玉作用。

本书在编写过程中,得到了许多专家的指正和本单位领导、同行的支持,在此一并表示感谢。

宛延

北京计算机应用和仿真技术研究所

1991年于北京

第 二 版 序 言

面向对象问题解和面向对象程序设计代表了新颖的计算机程序设计方法和思维方法,此方法与通常的结构程序设计方法不同。面向对象语言具有一种强有力的特征:支持一种旨在使得计算机问题解能更符合人的思维活动及其概念。人们能够利用C++语言充分挖掘硬件潜在能力,并能在减少存储开销的前提下,提供更强有力的软件开发工具。

C++是一种混合性语言,它既能具有独特的面向对象特征,又保留传统的高效结构语言C的主要特征。C++既能提供给程序开发者的面向对象能力,而又不失去内存运行效率,并能在普通计算机硬件上产生高质量的软件产品。

C++早在1980年就由AT&T贝尔实验室开发,迄今仍在演变中。C++是包含支持面向对象程序设计和C的一个超集,C++面向对象语言全面支持数据抽象、数据封装、继承性和多态性。C++语言比支持面向对象语言Ada和Modula-2更前进了一大步,并保留了C程序设计语言(编写UNIX操作系统的主语言)的简洁性和高效性,C++语言将代替C语言是肯定的事情,特别在大型程序设计软件项目和大型软件系统方面,而且中、小微型机和超级微机上也都适用。

面向对象模型和面向对象设计与实现,是当今最弱的部分。面向对象方法包含了分析、设计和实现的方法,它对软件系统开发起着关键作用。面向对象模型包括了对象模型、动态模型和功能模型。三种模型应用于系统开发的不同阶段,反映了几种不同观点来刻画不同的模型,而对象模型是最基本的。面向对象方法是基于客观世界的对象模型的软件开发方法,建立与语言无关的对象模型。面向对象开发方法是以对象为中心的开发方法,是客观世界中抽象出来的软件开发的新的思维方法,它可以促进软件工作者在应用领域中最大限度地发挥他的才能和思维能力。

本书的所有概念均通过许多精细的结构,以及充分的测试程序和简洁的模型来阐明的。经验告诉我们:一个优选的典型实例,能帮助读者澄清与C++的高级特征和面向对象设计与实现相关的模糊概念。事实上,典型实例本身,允许读者通过实践来理解和研究,从而更深刻了解C++语言和面向对象问题解,以及面向对象开发方法和其优越之处。

本书在编写过程中,得到许多专家的指正和帮助,也得到高科技领域同行的支持,在此一并表示感谢。

鉴于作者水平有限,错误之处在所难免,欢迎同行给以批评指正。

希望本书对我国软件开发和新的程序设计方法的革新方面,能起抛砖引玉作用。

宛延

1997年于北京

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 综述	1
1.2 面向对象程序设计	2
1.3 面向对象问题解	3
1.4 类、对象和封装.....	4
1.5 子类——继承性和多态性	6
1.6 面向对象程序设计的挑战	6
1.6.1 划分软件为类	6
1.6.2 对已存的软件系统增加功能	7
1.6.3 类型和子类型的层次结构	7
1.6.4 应改变典型软件开发过程	8
1.6.5 对“算法 + 数据结构 = 程序设计”的挑战	8
1.7 面向对象方法	9
1.7.1 什么是面向对象？	9
1.7.2 面向对象开发方法.....	11
1.7.3 面向对象方法学.....	11
1.7.4 三种模型.....	12
1.7.5 小结.....	13
第二章 从 C 语言如何过渡到C++ 语言	14
2.1 C++ 语言:一个正在演变语言及其发展史	14
2.2 在较小范围内如何将C++ 增强 C	16
2.2.1 注释行.....	16
2.2.2 枚举名.....	16
2.2.3 结构体或类名.....	16
2.2.4 在块(分程序)内说明.....	17
2.2.5 作用域限定运算符.....	17
2.2.6 const 说明符	17
2.2.7 无名共用体(anonymous unions)	17
2.2.8 显式类型转换.....	18
2.2.9 函数原型.....	18
2.2.10 函数名重载	18
2.2.11 函数参数的缺省值	19

2.2.12	具有不确定参数个数的函数	19
2.2.13	函数中引用参数	19
2.2.14	inline 说明符	19
2.2.15	new 和 delete 运算符	20
2.2.16	指向 void 的指针和返回 void 函数	20
2.3	在较大范围内如何将C++ 增强 C	20
2.3.1	类的构造和数据封装	21
2.3.2	结构是一种特殊类	21
2.3.3	构造函数和析构函数	22
2.3.4	私有、保护和公共部分	22
2.3.5	对象和消息	22
2.3.6	友元(friends)	23
2.3.7	类中运算符和函数名重载	23
2.3.8	导出类	23
2.3.9	虚拟函数	23
2.3.10	流库	24
第三章	快速掌握C++ 语言	25
3.1	注释行	25
3.2	常量、类型和说明	25
3.3	C++ 运算符	31
3.4	传递引用	33
3.5	指针	34
3.6	const 说明符	40
3.7	void 类型	42
3.8	枚举类型	43
3.9	无名共用体(anonymous unions)	44
3.10	显式类型转换	44
3.11	函数	45
3.11.1	函数原型	46
3.11.2	内联(inline)函数	46
3.11.3	缺省自变量	46
3.11.4	重载函数名	47
3.11.5	不确定自变量个数的函数	48
3.11.6	指向函数的指针和类属	48
3.12	C++系统的文件和物理组织	53

第四章	C++ 环境中的 C	54
4.1	函数调用	54
4.2	函数参数表	55
4.3	函数原型	55
4.4	引用型参数	56
4.5	参数个数不定	59
4.6	函数指针	60
4.7	const 类型说明符	62
4.8	C 代码的接口	64
4.8.1	设计的考虑	64
4.8.2	C 语言连接	65
4.8.3	从 C 调用 C++	66
4.8.4	在 C 和 C++ 之间共享头文件	67
4.8.5	将 C 数据输入到 C++	70
4.8.6	C++ 数据输入到 C	70
4.9	操作符引用返回值	72
第五章	数据封装和数据隐藏	74
5.1	过程语言、数据抽象、封装和数据隐藏	74
5.2	C++ 类	75
5.2.1	C++ 类的基本概念和实例	76
5.2.2	C++ 类与 C 结构	81
5.3	类自引用	83
5.4	构造函数和析构函数	85
5.4.1	一个 C++ 类的栈抽象数据类型的实现	86
5.4.2	用 Modula-2 实现的栈抽象数据类型	88
5.5	作为成员的对象	90
5.6	对象向量	92
5.7	友元(friends)	93
5.8	类的静态成员	95
5.9	运算符重载	95
5.9.1	双目和单目运算符	96
5.9.2	运算符重载的两个例子	97
5.9.3	< stream h > 库	108
5.10	几个基本行类	112
5.10.1	类属表	112
5.10.2	用二叉查找树实现类属查找表	117
5.10.3	search_table 抽象的 C++ 封装	118

第六章	导出类和继承性.....	129
6.1	导出类构造	130
6.2	父类有构造函数的导出类	134
6.3	导出类的一些例子	136
6.3.1	导出 counter 类	136
6.3.2	一个大学的类系统	138
6.3.3	从类属表中导出栈和队列	142
6.4	继承性	145
6.4.1	简单继承	145
6.4.2	范围和访问控制	150
6.4.3	多重继承	158
第七章	多态性和虚拟函数.....	168
7.1	虚拟函数	169
7.2	生成链表的一个面向对象解	172
7.2.1	异质链表的非多态性解	172
7.2.2	异质链表的面向对象解	178
7.2.3	非面向对象和面向对象系统的维护	186
7.3	多态性的异质查询树	191
7.4	使用多态性构造的有限状态自动机	196
第八章	面向对象模型.....	202
8.1	对象模型	202
8.1.1	对象图	202
8.1.2	连接和关联	204
8.1.3	高级的连接和关联	206
8.1.4	概括和继承	208
8.2	动态模型	211
8.2.1	事件和状态	212
8.2.2	状态图	215
8.2.3	操作	216
8.2.4	动态模型的实例(程控恒温器)	217
8.2.5	对象模型和动态模型的关系	221
8.3	功能模型	222
8.3.1	数据流图	222
8.3.2	操作	225
8.3.3	约束	227
8.3.4	功能模型的实例(飞行模拟装置)	227

8.3.5	功能模型与对象和动态模型的关系	230
第九章	面向对象设计与实现.....	231
9.1	分析	231
9.2	系统设计	233
9.2.1	将系统划分为子系统	233
9.2.2	系统设计阶段综述	234
9.2.3	系统设计的几个步骤	235
9.3	对象设计	235
9.3.1	对象设计综述	236
9.3.2	对象设计的步骤	237
9.4	小结	238
第十章	面向对象设计与C++面向对象程序设计典型实例剖析	239
	面向对象设计与实现的典型实例剖析.....	239
10.1	计算机动画.....	239
10.1.1	动画的制作过程.....	239
10.1.2	问题叙述.....	241
10.1.3	分析.....	242
10.1.4	系统设计.....	245
10.1.5	对象设计.....	246
10.1.6	实现.....	248
10.2	对象图编译.....	250
10.2.1	问题叙述.....	251
10.2.2	系统设计.....	256
10.2.3	对象设计.....	256
	C++与面向对象程序设计典型实例剖析	260
10.3	快速拼写检查程序.....	260
10.3.1	拼写检查程序的设计说明.....	260
10.3.2	拼写检查程序的高层设计.....	260
10.3.3	拼写检查程序的低层设计.....	263
10.3.4	拼写检查程序的实现.....	264
10.4	银行出纳员离散事件模拟.....	275
10.4.1	队列模拟的设计说明.....	275
10.4.2	队列模拟的高层设计.....	276
10.4.3	队列模拟的低层设计.....	281

10.4.4	队列模拟的实现.....	281
10.4.5	模拟输出.....	297
10.4.6	队列模拟的维护.....	300
10.5	交互式函数评价程序.....	304
10.5.1	函数评价程序的设计说明.....	304
10.5.2	表达式树的回顾.....	306
10.5.3	函数评价程序的高层设计.....	311
10.5.4	函数评价程序的低层设计.....	316
10.5.5	函数评价程序的全部实现.....	323
10.6	用C++仿真生态系统.....	341
10.6.1	人工生命是什么?.....	341
10.6.2	计算机和生命.....	342
10.6.3	生态系统仿真的基本说明.....	342
10.6.4	用C++仿真生态系统实例.....	343
	参考文献.....	353

第一章 绪 论

1.1 综 述

计算机软件开发一直被两大难题所困扰:一是如何超越程序复杂性障碍;二是如何在计算机系统中自然地表示客观世界,即对象模型。用C++语言写的面向对象程序设计是软件工程学中的结构化程序设计、模块化、数据抽象、信息隐藏、知识表示、并行处理等各种概念的积累与发展,是解决上述两大难题的20世纪90年代最有希望、最有前途的方法。面向对象程序设计是软件开发方法的一场革命,它代表了新颖的计算机程序设计的思维方法。该方法与通常结构程序设计十分不同,它支持一种概念,即旨在使得计算机问题的求解更接近人的思维活动,人们能够利用C++语言充分挖掘硬件潜在能力,在减少开销的前提下,提供更强有力的软件开发工具。

面向对象程序设计是软件系统的设计与实现的新方法。这种新方法是通过增加软件可扩充性和可重用性,来改善并提高程序员的生产能力,并能控制维护软件的复杂性和软件维护的开销。当使用面向对象程序设计方法时,软件开发的设计阶段更加紧密地与实现阶段相联系。在软件设计与实现中,当今有许许多多方法,面向对象方法是在实践中超越其他许多方法的潜在的最有前途的方法。虽然在各个应用领域中报导了面向对象程序设计的巨大成功,但就一般的软件设计和开发舞台,来评价面向对象方法学的成功,尚为时太早。从目前现状来看,C++和面向对象程序设计,不仅在尖端技术应用领域(如金融和通信)已立稳脚跟,而且C++已逐渐地为企业开发人员所接受。C++产品可以给用户一个很好的起跳点,用户可在此基础上按照接近人的思维活动,按不同的对象类向前进展,C++和面向对象程序设计在企业信息系统中占领一席之地是迟早之事。

面向对象方法包含了分析、设计和实现的面向对象方法。这部分是当今最弱的部分,面向对象方法对软件系统开发起着关键作用。本书不仅要在面向对象方法,而且还要在面向对象模型和设计方面加以介绍。面向对象模型和设计更好地加速对问题需求的了解,设计更加简洁清晰。特别是分析和设计过程中产生的高质量的产品,能极大地减少在开发后期发现的错误,并能显著地改善系统质量。

本书的目的是介绍软件开发崭新的面向对象方法、面向对象模型和设计、C++语言。C++语言非常适合于面向对象程序设计,C++这个名字表示了从C语言进化的特征。“++”是C的增量操作符,顾名思义,C++是C的扩充,C++是一种基于C的面向对象语言,即C++语言在提供面向对象程序设计的同时,保留C语言高度简洁和高效率等优点。我国已法定使用UNIX操作系统,而UNIX操作系统90%的代码用C语言编写。C语言具有高效灵活、易于理解、可移植性好等优点;C++语言不仅保留这些优点而且包含了几乎所有面向对象特征,C++将代替C是肯定的。所以,本书为了学习与研究的一致性和连贯性,我们将C++环境中的C进行对比,以利更好地掌握C++语言。

本书的逻辑梗概:绪论 C++ 语言 C 与C++对比 面向对象特征 面向对象模型和设计 典型实例剖析。

本书从第二章到第七章着重介绍C++语言、C++与 C 的对比和面向对象程序设计技巧和经验;第八章和第九章着重介绍面向对象模型和面向对象设计与实现;第十章是C++与面向对象设计典型实例剖析,它包括两个部分:一部分是典型的面向对象系统的设计与实现的实例剖析;另一部分是C++语言与面向对象程序设计的典型实例剖析。

1.2 面向对象程序设计

面向对象程序设计中心是围绕几个主要概念:抽象数据类型和类,类型层次(子类),继承性和多态性。类和继承是符合人们一般思维方式的描述模式。

什么叫对象(object) ?

对象通常作为计算机模拟思维,表示真实世界的抽象。一个对象像一个软件构造块,它包含了数据结构和提供相关的行为(操作)。对象本身可为用户提供一系列服务——可以改变对象状态、测试、传递消息等等,用户无需知道服务的任何实现细节,操作完全是封闭的。

抽象数据类型是面向对象程序设计的中心概念之一。一个抽象数据类型是一个模型,此模型包含一个类型和与之相关的操作集。定义这些操作集的是基本类型的行为。

在大多数面向对象语言中,类的定义描述以抽象数据类型为基础的对象行为,抽象数据类型定义了能以类型为基础执行所有操作的接口。类定义也指定了实现细节或类型的数据结构。通常这些实现细节仅在该类范围内存取,我们称这种类型为私有(private)类型。当数据类型的全部或部分在该类范围外存取,我们称这样的类型为公共(public)类型。

按面向对象的说法,为一个类而定义的所有操作称之为方法(methods)。这些方法类似于非面向对象语言中的过程和函数。如果一个类的 public 操作能在许多应用领域中被充分应用,那么可以说类是组成可重用软件程序块的基础。

一个对象(object)是被一个特定类说明的变量。这样一个对象通过包含在类定义中的所有域的拷贝(private 和 public 两部分)来封装。通过访问一个或几个在类定义上的方法,可以对这个对象实施各种操作。引用一个方法的过程称之为向这个对象发送一个消息(message)。一个典型的消息包含的一些参数,正像在非面向对象语言中过程或函数调用(或引用)的一些参数一样,一个典型引用方法的操作是修改存储于特定对象中的数据。

每个类变量或对象表示该类的一个实例(instance)。如果几个对象被定义具有同样的类,它们将是包含有不同值的一个集合。

面向对象方法通过子类提供类型的等级层次。一个子类(subclass)定义一个对象集合的行为,该对象继承父类(parent class)的各种特征,子类反过来又将它自己的或继承来的特征传递到它的子类中。借助允许建立子类的方法,可使软件开发的周期缩短,从而降低开发复杂性和费用。

子类能导致增加问题解的能力。用基本类的集合建立子类代替修改现存的软件,或

坏的软件,或重写的软件。这些新的子类的对象组成了软件构造的从属结构。

1.3 面向对象问题解

一个面向对象的软件系统的结构建立在一系列类上,这些类刻划了系统中所有要处理的基本数据类型的行为。每个类的许多对象可通过引用该类的方法来操纵,即向这些对象发送消息,这些消息表示了可在这个类的对象集合上发生的操作(活动)。

面向对象程序设计集中在对数据操作而不是对过程操纵。数据构成了软件分解的基础。的确,面向对象软件设计的主要挑战是将软件系统分解为基本数据类型或者类和子类,以及对每个基本类和子类特性的定义。对象即类(或子类)变量相应于实际问题领域中的物理的或逻辑的实体。

定义一个面向对象软件系统的结构框架和构成一个高层系统设计,最终只表现为一系列类(子类)、它们的定义和对象。用方法接口描述每个类的行为特征。这个方法的实现细节不是系统高层设计所关心的部分。

在典型的面向对象语言中,类中定义与方法的接口可以和实现细节的定义分开,允许系统的设计和系统实现分开。概念(与方法接口有关的类定义)和它的实现(实现这个类的数据结构和算法的代码)的分离在面向对象的程序设计中是非常重要的。

概念和它的实现的分离在构成重复使用性以及控制维护的花费上也是很重要的。

可重用性在面向对象程序设计中十分重要,因为在类中的封装概念由方法接口形式提供,用户仅需要了解类的对象作为在方法接口上的特定行为,而无需关心他们的实现。从用户观点来说,方法实现被包含在隐藏细节的“黑盒”中。

在面向对象程序设计中可维护性也很重要。这是因为改变数据结构或算法(即实现类的代码)仅局限于实现这个类(或类的一部分)的代码区域内。这对程序的维护提供了方便。

面向对象软件开发的主要目的是:

- (1) 用可重用软件分解(基于基本类)和用子类加快问题求解,缩短开发时间和减少软件开发费用;
- (2) 通过改变一个或多个类的实现,使其影响局部化,从而降低软件维护的花费。

面向对象系统的可靠性可以得到增强,因为初始设计阶段就注重高层的整体性,构成系统的主要部件从一开始就被正确组合在一起。每个主要部件是用其抽象特性定义,高层集成整体性的测试在许多低层详细设计之前已经设计好或已实现了,这些贡献改善了可靠性。

面向对象程序设计提供了一个快速原型可使用平台。在软件系统高层分解进入类并从这些类的对象被完成之后,许多重要方法(赋予系统行为)能快速简单地实现,最后可达到细节的完美实现。

1.4 类、对象和封装

一个类描述涉及到定义该类任一对象的一个实例的所有行为特征。实际上,一个类定义的是一种对象类型。

一个类定义的私有部分通常定义了以数据类型为基础的数据结构。仅仅在该类范围内部可以存取指定的方法,这些方法经常支持公共(public)方法的实现。有时一个类的私有部分可以包含其他类的对象,这个其他类仅在给定类的范围内部才能被操纵。

一个类的公共部分通常指定对方法的接口,在许多交叉应用领域中它们构成了这个类的可重用性的基础。这些方法能引用到该类的范围之外,当然是用发送消息到给定类的对象的方式。

封装是用于被定义的各个软件对象的过程中。封装定义为:

- (1) 所有对象内部软件范围具有清晰的边界;
- (2) 描述该对象与其他对象如何相互作用的一个接口;
- (3) 受保护的内部实现。该实现给出了由软件对象提供的功能的细节,实现细节不能在定义该对象的类的范围外进行访问。

封装概念不仅涉及到类的描述,而且涉及如何将问题解的各个组件组装在一起的求精过程。封装的单位是对象,该对象的特性由它自己的类说明来描述。这些特性为相同类的其他对象所共享,对象的封装比讲一个类表示的封装更具体化。有了封装这个定义,一个类的每个实例(instance)在一个问题求解中是一个独立的封装,或称作组件(问题解的分量)。

下例介绍类、对象和封装。在此简要研究一下二叉查找树(a binary search tree)的抽象(详见本书第五章)。

在最高层上,两个对象由基本表示二叉查找树来标识。这些对象的第一个是由称之为类树的实例来表示,因为二叉查找树是由许多节点组成,对象的第二个用称为树节点类的实例来表示。

树节点类赋予下述特点:

- 树节点类的实例是由二叉查找树构成的对象;
- 每个树节点包含了确定在结构中数据排序关系的一个对象;
- 一个二叉查找树包含了指向左子树和指向右子树的许多对象。

在树节点类的对象定义的方法为:

- new . node 建立一个树节点类的新实例;
- key 在确定树排序的节点中,返回数据存储域;
- left 返回给定节点的左子节点;
- right 返回给定节点的右子节点。

表 1.1 描绘了树节点类。

表 1.1 树节点类的描述

```
class Tree node
    private
        object ordering relation
        object left. subtree
        object right. subtree
    public
        method new. node
        method key
        method left
        method right
```

树类有以下特征：

- 树类的实例是二叉查找树；
- 一个二叉查找树是以称为根节点的一个具体节点及由许多树节点组成，对树对象的所有存取均通过根节点进行；
- 在二叉查找树的节点均相对于某些关键对象排序，在左子树中具有较小键值而在右子树中具有较大键值；
- 在二叉查找树的节点的插入和删除必须产生二叉查找树的一个对象。

在树类的对象定义的方法为：

- define 建立一个新树；
- insert 在树中插入一个新节点；
- remove 从树中删除已存的节点；
- is. present 确定是否是树中一个具体节点；
- display 在树中按序输出节点的集合。

表 1.2 描绘了树类。

表 1.2 树类的描述

```
class tree
    private
        object root. node
    public
        method define
        method insert
        method remove
        method is. present
        method display
```

1.5 子类——继承性和多态性

我们现在介绍类层次概念。在层次体系中,某些类是从属于其他类,或称为子类,在C++中称为导出类(derived classes)。子类是被认为层次体系组合下的类的具体情况,通常在类层次体系中的下层表示一个增加的详细说明,而高层通常表示更高的概括。

在大多数面向对象语言中,如果类P是子类S的一个父辈,则子类S的一个对象s能使用父类P的一个对象p。这蕴含着消息(即操作)公共集合能发送到类P和类S的各个对象。当同样消息能被发送到父类的对象和它的子类的对象时,我们把此定义为多态性(polymorphism)。

多态性允许每个对象响应公共消息格式,即用合适的方式从一个对象取来送到子类对象去。例如,一个打印方法可定义输出到赋予一个对象状态的某个数据域。多态性的相同消息print,被送到一个类和它的子类里面的所有对象,这样,每个对象知道如何响应这个消息,也允许用与其他子类对象的不同方式响应。例如,不同数据域可以从每个不同的子类的对象输出。在不同类型对象上,对一个类似的操作,使用相同消息的能力是与问题解的人的思维方式相一致的。对打印整数、浮点数、字符、字符串和数据记录等使用不同的术语是不自然的。多态性是对问题解的面向对象方法中的关键特征之一。

不同的面向对象语言提供了一个能力范围,此能力涉及到一个子类的对象的规模,即可继承、可扩充或取而代之父类的特征等。某些面向对象语言支持多重继承,即在一个子类中可多于一个父类。这些内容在后面几章将陆续介绍。

1.6 面向对象程序设计的挑战

面向对象程序设计的挑战的某些方面是,通过寻找共通性把软件系统划分为类,建立子类来处理具体个性,这样一步步对现存的软件系统构造出一个合适的类和子类的层次体系结构。

1.6.1 划分软件为类

对初学的面向对象程序员,用类设计建立一个程序,似乎是不自然的,也比较困难。例如,写一个rollbook数据库程序,在此程序中有存储、修改和删除学生的名字和成绩,以及打印这些学生的名字和成绩单。典型的方法是定义rollbook的数据类型,然后定义插入、删除、修改和打印方法作为以rollbook数据类型为基础的相联系的操作。

插入、删除和修改操作可以用比rollbook的类型更合适的与过程相联系的edit来代替,这样过程的edit能说明为一个类,这个edit类能在其他要求数据库信息联机交互编辑应用中重用。rollbook类能包含edit类的一个对象,去完成插入、删除和修改学生的名字和成绩单。

1.6.2 对已存的软件系统增加功能

在面向对象程序中每个函数或过程是与一个类相联系的。对已存在的软件系统增加一个新功能,那么设计者或程序员必须决定是否增加一个特殊过程到已存在的类中,或定义一个新类或一个子类。

可重用性问题是决定新功能应当加到面向对象系统什么地方。如果增加的功能从几个已存在类中被对象重用,则有理由基于函数或过程建立一个新类。如果新功能的实现要求访问已存的类型的内部细节,则有理由增加新功能作为添加方法加到现存类中。如果新功能表示对一个给定类中一个现存函数(方法)的修改,则有理由作为一个方法去建立一个子类并增加功能到这个子类中。这个方法就取而代之父类中的类似的方法。

1.6.3 类型和子类型的层次结构

建立类和子类的一种方法是从顶向下数据类型分解,在分解中程序员应在类的系统中辨认并按模型建造主要数据元素。从高层的数据分量(类)一层一层地划分为更专门的子类,此过程一直继续到类和对象的层次结构构造完成为止。

作为一个例子,考虑作为系统中主要类的一个汽车,汽车类可以划分成子类发动机,变速器,闸,教练设备,排气装置,悬置等。子类发动机,像其他子类一样,能进一步划分为点火装置,燃料喷射装置和启动装置。点火装置子类也能进一步划分为火花活塞和螺线管。对每个这样的类和子类,必须定义相应的操作(方法)集合,汽车类分解图的一部分由图 1.1 示出。

另外一个方法是建立类和子类的所谓自底向上分解,在此分解中许多子类生长(扩充)成一个父类,并对每个相继的子类的对象提供更大的功能。

通常采用自底向上的分解例子是一个屏幕窗口类(Screen-Window)作为一个父类。这样一个类概括了所有屏幕窗口的最小特性。我们能构造一系列子类,对基本的Screen-Window类加上许多功能,并具有各种各样子类的对象,诸如作为前景和背景颜色的属性、窗口边界的限定,等等。对Screen-Window的部分类分解在图 1.2 描绘。

图 1.1 汽车部分类分解图

图 1.2 屏幕窗口部分类分解图

通常是两种方法共同使用,即通过从一个父类开始逐步建立子类,当软件工程师了解