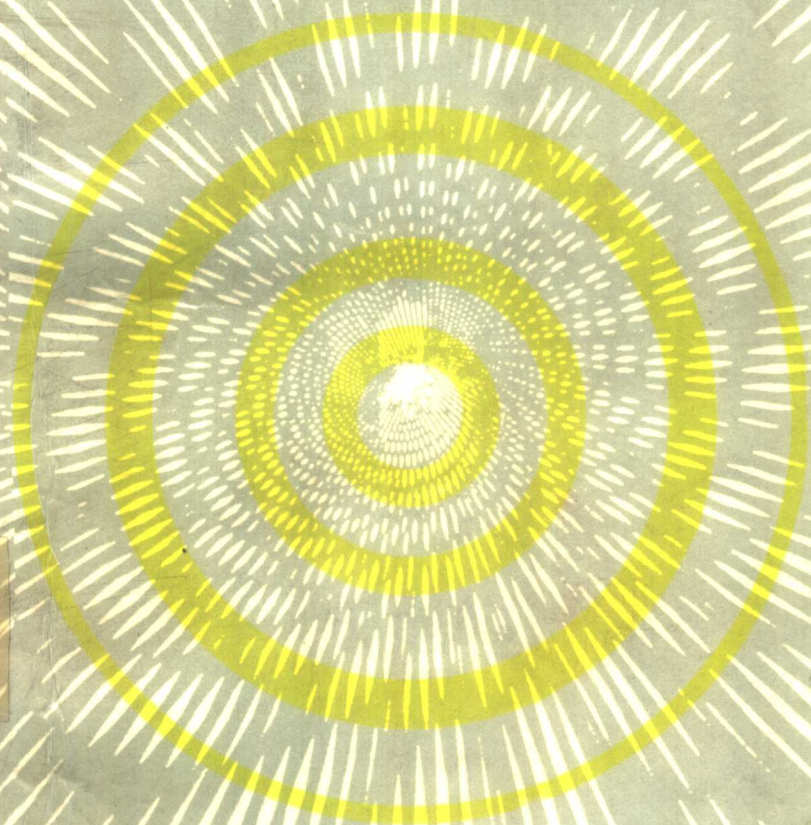


面向对象编程的 C++/ES

任卫平 陈定方 编译
张建新 陈建新



中国铁道出版社

4+7+12+8
878723 - 32

73.87429

8.218
73.87429
C210

CO

面向对象编程的 C++/ES

图灵3号

任卫平 陈定方
张建新 陈建新 编译

陈定方 审校

(中国科学院计算技术研究所 CAD 开放研究实验室)

中国铁道出版社

1992年·北京

035258
(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书通过大量实例系统地展示了如何运用 C/C++ 开发 ES 的全过程,并通过丰富的资料详细地概括了当今 ES 在各领域的成功应用、开发规则及存在的不足。此外,本书还介绍了使用 ES 技术改善常规软件的技巧。

全书共分四大部分:第一部分介绍 ES、面向对象编程及 C++ 的基本概念;第二部分介绍 C++ 的实用程序和 ES 的语言及工具;第三部分介绍如何用 C++ 构造 ES 的各组成元素;第四部分介绍 ES 的应用交付。

本书适合于软件工作者和 AI/ES 爱好者在研究开发 ES 时参考使用,对于以 ES 作为研究方向的研究生和大学生亦是一本难得的教课书。

面向对象编程的 C++/ES

任卫平 陈定方
张建新 陈建新 编译
陈定方 审校

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 殷小燕 封面设计 翟达

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:16.125 字数:417 千

1992 年 2 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1—2500 册

ISBN7-113-01251-5/TP·123 定价:11.50 元

序

本书为愿意用 C/C++ 在程序中引进新的先进软件技术 AI (人工智能)/ES(专家系统)的程序员和那些需要转化 ES 为 C/C++ 的人们而编写。C++ 是 C 语言为适应近代软件工程而发展的超集,是一种面向对象程序设计语言,具有信息隐藏、动态结合、类继承、信息传递和动态存储管理等特性。其中的类结构可极大地方便数据/知识表达,因而特别适用于 ES 的开发。

专家系统可以用属于那些常规软件程序的术语来解释。一个专家系统大体上包括一个知识库(与程序码比较),一个推理机(与编译器/解释器比较)和用户接口程序。知识库包含规则和事实;推理机由搜索控制和推理机制组成。

AI/ES 已经走出实验室,开始获得市场的承认。ES 市场一直是 AI 工业中增长最快的分支,从 1982 年的 \$9million(百万美元)到 1990 年的 \$1.8billion(十亿美元)。AI 专家中大多数不相信 ES 将代替人类专家;但他们相信 ES 将代替低级专家的某些功能。例如,一些初级借贷人员和计算机系统配置员的工作。

然而,由于目前的 ES 大多需要特殊的软件和硬件,因而阻碍了 AI/ES 快速增长的路径。对许多 ES,需要特定的 AI 工作站和复杂的 AI 软件包,如 KEE 或 ART。这一要求表明即使在决策者获得 AI/ES 是否有益于他或她的部门的感觉前,就需要大约 \$100,000.00 的可观投资。

用 C/C++ 编写的专家系统技术能产生捕捉嵌套在程序中的经验规则或启发式专家知识能力的新的程序设计空间。C/C++ 中提供的类结构使你能够方便地表达所组织的知识/数据。当用在 ES 中时,C 语言的高效性和可移植性给予你速度和计算机环境的

独立性。嵌有 ES 技术的程序使用户能仿真专家们的知识判断,如地理学家、医生、律师、银行家或保险公司人员。

像 MYCIN, PROSPECTOR 和 XCON 的第一代 ES 主要应用于科学计算和工程问题,这些问题用于决策过程的术语在理论上不易被它们的专家所理解,因此需要判断计算。

第二代 ES 已应用到涉及大量选择的复杂综合问题,如怎样构造元素。这些问题通常占用大量的搜索空间,而使设计的 ES 运行较慢。这些系统的例子有工厂规划应用(如 ISIS)或合理推理应用(如 TAXMAN)。第二代 ES 的发展集中在建立 AI/ES 作为不同于软件开发的新工业。在从制造业到金融计划几乎每个领域已证明可盈利的应用。多数 ES 正涉及的三个主要领域是:制造业、军事运筹和财政计划。然而,一些公司已在探索像电子设备的操作这样的保守市场,应用于核电厂及工业和商业用户的负荷管理。这些应用在 1985 年通过 155 个高效的由 Macintosh International (Saratoga, CA) 引导的 ES 终端用户所验证。

除了编码专家的判断知识外,通常 ES 提供比常规程序更好的人机交互界面,通过追踪问题的各个不同方面来给出解释,以及演示一个决策是如何推导出来的。多数 ES 允许用户提出为什么作或不作出一个决策。由于这些方便使用的特点,掌握了 ES 技能的程序员能够指望增加他们软件产品的用户友好性。

第三代 ES 正出现,在那里, AI/ES 不再被认为是“神奇炸药”。AI 仅是一种新的软件技术。ES 及其外壳被嵌于常规程序中,使程序更具智能和便于使用。这些程序被赋予推理能力(从一个存在的知识推出新的事实)、查询能力(获得数据和向用户解释作出一个决策的理由)和使用方便性(即错误检测和自然语言译机)。

编写本书使 C/C++ 程序员能够集 AI 特别是 ES 技术于程序中,并使程序以下列方式执行:

- 智能“用户”:与数据库和其它软件一样使用;与软件包/数据库的交互作用不是它的主要目标,而仅仅是一种方便地

访问数据的工具。

- 智能“表达”:使用数学逻辑来表达在软件包/数据库中关于数据的一般事实,以增加软件包/数据库响应查询的能力。
- 智能“探测器”:支持浏览一个数据库或程序,也支持对不同范围要求的查询修改,使之更易于理解。
- 自然语言“接口”:提供自然语言接口软件包,允许用户检索和处理信息而不必学习软件包的专用命令语言。
- 自然语言文本“分析”:处理用户自然语言输入文本,产生对用户查询的正确响应。在规定的范围内理解自然语言文本的ES,允许用户以相对柔软的方法输入数据。
- 知识“累加器”和“传送器”:提取专家和专门人员的经验,劝告或训练初级人员在接近专家的水平上完成一项工作。

因为C++不允许在运行期间动态地定义数据结构,故ES外壳能用于快速地建立样机,测试和提取ES的结构。样机肯定后,C++能用来表述与真实的问题相对应的,并准备最终提供给多种计算环境的分层数据结构与知识。

本书是特地为IBM-PC/XT/AT及其兼容机而编写的。它可为程序员提供能在常规程序中构造前面所列功能的核心知识。本书集中为你提供把ES外壳或ES嵌入到你的计算机程序中的知识,由四大部分组成:

- 基础ES,面向对象的程序设计,C++概念;
- C/C++实用程序,ES语言及工具;
- 用C++编写ES实用模块;
- ES应用。

如果你已经理解ES和面向对象的程序设计,可以跳过第一,二部分有关章节,而不影响你对本书其余部分的理解。

编译者的话

编译本书是我们几位译者的一次愉快的尝试。去年秋天,编者有机会赴新加坡参加美国 INTERGRAPH 公司的 CAD 培训,一个偶然的的机会得到了这本《C/C++ FOR EXPERT SYSTEMS》好书。它深深地吸引了我们,不仅是因为其激动人心的丰富内容,而且由于本书出自一位年轻的华人——当今 AI/ES 应用领域第一流的权威 DAVID HU 博士之手。仿佛有一股不可抗拒的力量促使我们不顾一切地投入这项浩大的工程,力求以最快的速度将其奉献给专业软件工作者和广大的 AI/ES 爱好者。

编译的本书有以下几个特点:

- (1)内容新颖。本书引用丰富的资料全面地概括了迄今 ES 最成功的应用、ES 的开发规则和 ES 的缺点及难点。对于欲了解 ES 的发展历史及最新动态的读者,本书具有很好的参考价值。
- (2)实用性强。本书通过大量实例系统地展示了运用 C++ 开发 ES 的全过程,以及如何在常规的 C/C++ 程序中嵌入 ES 技术的方法。因此,对于有经验的专业软件人员,本书亦是一本难得的参考书。
- (3)适用性广。本书是为特为 IBM-PC/XT/AT 及其兼容机编译的。书中的所有实例均已在 PC 机上 C++ 编译系统的支撑下实现;书中所论及的多数 ES 语言及工具也是针对 PC 机而言的,在 PC 用户不断普及的今天,本书当具有极大的市场。
- (4)软件配套。本书备有配套的软件,共九张低密度软盘,包括 C++ 编译系统以及已全部调试通过的书中所附实例。

本书由任卫平、陈定方、张建新、陈建新编译，陈定方主审。任卫平担任了二~十一章及附录的编译；张建新担任了第一章的编译及书中所附实例的调试；陈建新担任了第十二章的编译；陈定方对全书的体系结构、文字、实例进行了细致的审阅，提出了许多重要的修改完善意见。

本书的编译工作得到了中国科学院计算技术研究所 CAD 开放研究实验室和机电部二院计算中心的大力支持，尤其是董玫玲女士和邵伯余先生在文字处理中所做的大量工作。在此，编者谨表示衷心的感谢。由于编者水平所限，不妥和错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

一九九一年三月

目 录

第一部分 C/C++和专家系统原理

| | |
|--|----|
| 第一章 专家系统原理 | 1 |
| 第一节 基本概念..... | 2 |
| 第二节 知识库..... | 3 |
| 一、规 则..... | 3 |
| 二、框架或单元..... | 4 |
| 三、逻 辑..... | 4 |
| 第三节 推 理 机..... | 5 |
| 一、正向链接..... | 6 |
| 二、反向链接..... | 6 |
| 第四节 人机接口..... | 7 |
| 第五节 知识的不确定性..... | 7 |
| 第六节 小 结..... | 8 |
| 参考文献..... | 9 |
| 第二章 面向对象的编程概念和用于 ES 开发的 C++原理 ... | 10 |
| 第一节 熟悉 Smalltalk 环境 | 12 |
| 一、Smalltalk 表达式及计算 | 12 |
| 二、程序设计类和方法 | 15 |
| 三、用 C/C++编写 ES 类和方法结构的仿真..... | 26 |
| 第二节 用于 ES 开发的 C/C++特征概述..... | 26 |
| 一、程序结构 | 27 |
| 二、类似 LISP 的函数..... | 29 |
| 三、名称枚举 | 29 |

| | |
|---|-----------|
| 四、无值(void) | 30 |
| 五、源程序清单 2.1:菜单驱动的应用程序 | 30 |
| 六、函数原型 | 31 |
| 七、函数名的重载 | 31 |
| 八、缺省变元,函数中的引用参数和函数中无指定数目的 参数 | 32 |
| 第三节 面向对象的编程概念 | 33 |
| 一、类和数据封闭 | 33 |
| 二、类结构 | 34 |
| 三、源程序清单 2.2:包含“公用”数据的抽样程序 | 34 |
| 四、源程序清单 2.3:表示继承性的抽样程序 | 36 |
| 五、源程序清单 2.4:把成员函数说明为一给定类的抽样 程序 | 37 |
| 六、源程序清单 2.5:初始化一个类中的各嵌套类 | 40 |
| 七、构造器和析构器 | 41 |
| 八、嵌套和初始化类 | 42 |
| 九、友 元 | 43 |
| 十、静态成员 | 43 |
| 十一、创建子类(导出类) | 44 |
| 十二、用父类构造器初始化一个子类 | 47 |
| 十三、源程序清单 2.6:用父类构造器初始化一个子类 | 47 |
| 十四、虚拟函数及其多态性 | 48 |
| 第四节 小 结 | 49 |
| 参考文献 | 50 |
| 第三章 用C/C++开发ES | 52 |
| 第一节 用C/C++开发ES的优点 | 52 |
| 一、C的发展和特点 | 52 |
| 二、ES从C中需要什么? | 53 |
| 三、C++的发展和特点 | 54 |

| | |
|---------------------------|----|
| 第二节 与众不同的 ES 程序设计概念 | 56 |
| 一、早期介入用户 | 57 |
| 二、指定构造原型的功能区域 | 57 |
| 三、建立快速原型的要求 | 58 |
| 四、获取并测试第一次分割和迭代改进 | 58 |
| 五、强调原型的用途 | 59 |
| 六、维护一小规模的成型组 | 59 |
| 第三节 设计规则 | 59 |
| 一、模块化 | 60 |
| 二、面向对象的程序设计 | 60 |
| 三、简单的推理机 | 60 |
| 四、知识的冗余度 | 61 |
| 五、良好的人机界面 | 61 |
| 第四节 小 结 | 61 |
| 参考文献 | 62 |

第二部分 用 C/C++ 表达 ES/AI 的语言和工具

| | |
|---|----|
| 第四章 LISP 实用程序 | 63 |
| 第一节 逐渐熟悉 LISP | 65 |
| 第二节 程序结构 | 67 |
| 第三节 表操作(能用 C/C++ 模仿的 LISP 函数) | 68 |
| 一、赋值函数: setq, psetq, set | 68 |
| 二、分离表函数: car, cdr 及其派生函数 | 69 |
| 三、构造和显示函数: list, append, cons | 70 |
| 四、重构表函数: member, reverse, length, subst 等 | 71 |
| 五、谓词: atom, listp, null, numberp, eq, eql, equal, and, or, not | 72 |
| 第四节 用作表操作的 C/C++ 实用函数 | 74 |
| 一、car 和 cdr | 74 |

| | |
|---|-----|
| 二、append 和 cons | 76 |
| 三、member, length, nth, reverse 和 subst 函数 | 87 |
| 四、谓词: atom, variablep, equal | 87 |
| 五、copy-list, push 和 killcons | 88 |
| 六、Lread 和 Lprint(读取和打印 S-表达式) | 88 |
| 第五节 从 LISP 到 C/C++ 的样本转换: 替代 | 88 |
| 第六节 小 结 | 100 |
| 参考文献 | 100 |
| 第五章 PROLOG 实用程序 | 101 |
| 第一节 逐渐熟悉 Prolog | 101 |
| 一、说明和查询事实 | 102 |
| 二、例证和回溯 | 106 |
| 三、给程序加注解 | 107 |
| 四、给数据库添规则 | 107 |
| 五、算术运算 | 108 |
| 六、编写程序 | 109 |
| 七、显示全部子句 | 110 |
| 八、输入/输出 | 110 |
| 九、修改数据库 | 112 |
| 十、用 Prolog 编写 LISP 函数 | 113 |
| 十一、回溯中的切分(cut)操作符 | 114 |
| 第二节 用 C/C++ 编写 Prolog 实用函数 | 115 |
| 一、C/C++ 中的联合 | 115 |
| 二、回 溯(backtracking) | 122 |
| 第三节 小 结 | 125 |
| 参考文献 | 126 |
| 第六章 ES 工具和 C/C++ | 127 |
| 第一节 可用于工具中的软件包 | 128 |
| 一、调试辅助程序 | 128 |

| | |
|------------------------|-----|
| 二、输入/输出菜单 | 129 |
| 三、编辑程序 | 129 |
| 四、解释处理器 | 129 |
| 第二节 工具的范围 | 129 |
| 第三节 PC 机上可用的工具 | 132 |
| 一、PC 工具的移植性 | 135 |
| 二、工具的完善性 | 136 |
| 三、知识获取要求 | 137 |
| 四、基于 C/C++ 的语言工具 | 137 |
| 第四节 用于专用工作站的工具 | 138 |
| 一、专用工具 | 138 |
| 二、混合工具 | 139 |
| 三、构造系统的辅助工具 | 139 |
| 第五节 小 结 | 140 |
| 参考文献 | 141 |

第三部分 用 C/C++ 程序设计 ES

| | |
|-----------------------------|------------|
| 第七章 构造知识表达语言结构 | 146 |
| 第一节 构造框架结构 | 147 |
| 一、基本假定 | 147 |
| 二、优点和缺点 | 148 |
| 三、设计框架结构的方法 | 149 |
| 四、用 C++ 实现框架结构 | 153 |
| 第二节 构造规则结构 | 204 |
| 一、基本假定 | 204 |
| 二、优点和缺点 | 206 |
| 三、实现规则结构的方法 | 208 |
| 四、库存控制系统实例 | 214 |
| 五、元规则 | 218 |

| | | |
|------------|--------------------------|-----|
| 第三节 | 构造逻辑结构 | 218 |
| 一、 | 实现逻辑结构的方法 | 220 |
| 二、 | 断言、存贮和查找 | 225 |
| 第四节 | 小 结 | 225 |
| | 参考文献 | 227 |
| 第八章 | 构造推理机 | 228 |
| 第一节 | 设计推理机 | 228 |
| 第二节 | 正向链接 | 228 |
| 一、 | 一种简单正向链接形式的实现 | 229 |
| 二、 | 简单正向链接形式的增强型 | 234 |
| 第三节 | 反向链接 | 235 |
| 第四节 | 版面调整(Justification) | 261 |
| 第五节 | 搜索策略 | 261 |
| 一、 | 深度优先搜索 | 262 |
| 二、 | 宽度优先搜索和最佳优先搜索 | 263 |
| 第六节 | 小 结 | 264 |
| 第九章 | 合为一体的用户接口和知识的不确定性 | 266 |
| 第一节 | 用户接口概述 | 266 |
| 一、 | 半自然或全自然语言接口 | 267 |
| 第二节 | 用户接口选择 | 270 |
| 一、 | 简单输入/输出实用程序 | 270 |
| 二、 | 鼠标器操作 | 284 |
| 三、 | 窗口操作 | 285 |
| 四、 | 菜单操作 | 288 |
| 五、 | 自然语言前端 | 289 |
| 六、 | 声音识别和合成、视频显示和其它用户方便性 | 290 |
| 第三节 | 处理不确定的知识 | 291 |
| 一、 | 理论方法 | 292 |
| 二、 | 用C语言实现不确定性 | 293 |

| | |
|--------------------------------|-----|
| 第四节 小 结 | 295 |
| 参考文献 | 296 |
| 第十章 制定用于 ES 的 C/C++ 库结构 | 298 |
| 第一节 库 句 法 | 298 |
| 一、KEYS-and-VALS(关键词和值) | 300 |
| 第二节 命令一览表 | 300 |
| 一、库函数一览表 | 300 |
| 第三节 对象操作 | 303 |
| 第四节 推 理 | 305 |
| 第五节 自然语言 | 311 |
| 第六节 文件交互作用 | 312 |
| 第七节 特殊的应用 | 314 |
| 第八节 小 结 | 318 |
| 参考文献 | 318 |

第四部分 专家系统应用

| | |
|-----------------------------|-----|
| 第十一章 ES 应用和探讨 | 319 |
| 第一节 适用于使用 ES 技术的任务 | 319 |
| 一、控制/监视(control/monitoring) | 320 |
| 二、调 试(Debugging) | 320 |
| 三、设 计(Design) | 321 |
| 四、诊 断(Diagnosis) | 322 |
| 五、指 导(Instruction) | 322 |
| 六、解 释(Interpretation) | 323 |
| 七、计 划(Planning) | 324 |
| 八、预 测(Predication) | 324 |
| 第二节 两个实例研究: XCON 和 DELTA | 325 |
| 一、XCON | 325 |
| 二、DELTA | 329 |

| | |
|---|------------|
| 三、特点比较..... | 331 |
| 第三节 ES 的缺点和难点 | 337 |
| 第四节 ES 开发规则 | 339 |
| 一、硬件要求..... | 340 |
| 第五节 应用选择规则..... | 340 |
| 第六节 应用 ES 技术改进软件程序 | 342 |
| 一、ES 充当智能用户 | 342 |
| 二、智能代表..... | 344 |
| 三、智能探测器..... | 346 |
| 四、自然语言接口..... | 346 |
| 五、自然语言文本分析员..... | 347 |
| 第七节 小 结..... | 348 |
| 参考文献..... | 349 |
| 第十二章 ES 的建立和交付 | 353 |
| 第一节 用 C++ 建立 ES 的一般过程 | 353 |
| 第二节 结构化库存控制系统(ICS)问题 | 355 |
| 第三节 用 IQ-200 来快速成型 ICS 模型 | 356 |
| 一、源程序清单 12.1:用 IQ-200 建立 ICS 模型的样本 程序..... | 356 |
| 二、定义用户接口选项..... | 383 |
| 三、建立主机/知识源 | 385 |
| 第四节 转化 ICS 为 C/C++ 程序 | 386 |
| 第五节 ES 的交付 | 386 |
| 一、用户友好性..... | 387 |
| 二、方便性(与工作环境的兼容性)..... | 387 |
| 三、产品的实用性..... | 388 |
| 四、维 护..... | 388 |
| 五、培 训..... | 389 |
| 第六节 小 结..... | 389 |

| | |
|--|-----|
| 附录 A IQ-200 技术概要 | 391 |
| 第一节 什么是 IQ-200? | 391 |
| 一、数据集成..... | 391 |
| 二、基于规则推理..... | 391 |
| 第二节 功能概述 | 392 |
| 一、数据库资源的集成..... | 392 |
| 二、基于逻辑的方法..... | 392 |
| 三、知识和数据表达..... | 393 |
| 四、推理系统..... | 393 |
| 五、通信系统..... | 394 |
| 六、用户接口..... | 394 |
| 七、与其它程序的接口..... | 395 |
| 第三节 例子 | 395 |
| 第四节 系统需求 | 396 |
| 附录 B 与 C++ 类似但用 C++ 难以模仿的 LISP 函数 | 397 |
| 第一节 算术运算及谓词 | 397 |
| 一、算术运算..... | 397 |
| 二、算术谓词..... | 398 |
| 第二节 计算和用户定义函数: eval, apply, mapcar (apply — to—all), defun, lambda | 399 |
| 第三节 条件作用函数: cond, if, ifn, when, unless, case | 401 |
| 第四节 递归 | 404 |
| 第五节 迭代和联合函数: prog, do, let, value | 405 |
| 一、prog, prog1, prog2 和 progn | 405 |
| 二、do 和 do * | 407 |
| 三、联合变量: let 和 let * | 408 |
| 四、Values | 410 |
| 第六节 输入/输出函数: print, princ, prinl, pprint, terpri, format, backquote, read | 410 |