



F#语言程序设计

郑宇军 凌海风 编著



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 计算机科学与技术

F#语言程序设计

郑宇军 凌海风 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

F#是一门全新的.NET 核心编程语言,它在函数式程序设计语言的基础上融合了面向对象的思想,是开发未来.NET 应用特别是计算密集型和分布式系统的首选语言。本书由浅入深、由具体到抽象地介绍了F#语言的基础语法、编程范式和典型应用,同时提供了丰富的程序案例,能够帮助读者迅速掌握F#程序设计的基本方法和技巧。

本书适合作为高等院校教材,也可供专业开发人员学习参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

F#语言程序设计 / 郑宇军, 凌海风编著. —北京: 清华大学出版社, 2012.1

(21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术)

ISBN 978-7-302-24892-7

I. ①F… II. ①郑… ②凌… III. ①程序语言-程序设计 IV. ①TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 033302 号

责任编辑: 魏江江 徐跃进

责任校对: 时翠兰

责任印制: 何 芊

出版发行: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260 印 张: 23.25 字 数: 576 千字

版 次: 2012 年 1 月第 1 版 印 次: 2012 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 39.00 元

产品编号: 039749-01

编审委员会成员

(按地区排序)

清华大学

周立柱 教授

覃 征 教授

王建民 教授

冯建华 教授

刘 强 副教授

北京大学

杨冬青 教授

陈 钟 教授

陈立军 副教授

北京航空航天大学

马殿富 教授

吴超英 副教授

姚淑珍 教授

中国人民大学

王 珊 教授

孟小峰 教授

陈 红 教授

北京师范大学

周明全 教授

北京交通大学

阮秋琦 教授

赵 宏 副教授

北京信息工程学院

孟庆昌 教授

北京科技大学

杨炳儒 教授

石油大学

陈 明 教授

天津大学

艾德才 教授

复旦大学

吴立德 教授

吴百锋 教授

杨卫东 副教授

同济大学

苗夺谦 教授

徐 安 教授

华东理工大学

邵志清 教授

华东师范大学

杨宗源 教授

应吉康 教授

东华大学

乐嘉锦 教授

孙 莉 副教授

浙江大学

吴朝晖 教授

李善平 教授



扬州大学	李 云	教授
南京大学	骆 斌	教授
	黄 强	副教授
南京航空航天大学	黄志球	教授
	秦小麟	教授
南京理工大学	张功萱	教授
南京邮电学院	朱秀昌	教授
苏州大学	王宜怀	教授
	陈建明	副教授
江苏大学	鲍可进	教授
中国矿业大学	张 艳	教授
	姜 薇	副教授
武汉大学	何炎祥	教授
华中科技大学	刘乐善	教授
中南财经政法大学	刘腾红	教授
华中师范大学	叶俊民	教授
	郑世珏	教授
	陈 利	教授
江汉大学	颜 彬	教授
国防科技大学	赵克佳	教授
	邹北骥	教授
中南大学	刘卫国	教授
湖南大学	林亚平	教授
西安交通大学	沈钧毅	教授
	齐 勇	教授
长安大学	巨永锋	教授
哈尔滨工业大学	郭茂祖	教授
吉林大学	徐一平	教授
	毕 强	教授
山东大学	孟祥旭	教授
	郝兴伟	教授
中山大学	潘小轰	教授
厦门大学	冯少荣	教授
仰恩大学	张思民	教授
云南大学	刘惟一	教授
电子科技大学	刘乃琦	教授
	罗 蕾	教授
成都理工大学	蔡 淮	教授
	于 春	副教授
西南交通大学	曾华燊	教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程(简称‘质量工程’)”,通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《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》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前，针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”，即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括：

- (1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业，特别是非计算机专业的计算机应用类教材。
- (2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。
- (3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。
- (4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。
- (5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。
- (6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。
- (7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。
- (8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力，在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌，为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格，这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人：魏江江

E-mail: weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

多掌握“一门”编程语言和“一类”编程语言是截然不同的两个概念。许多程序员废寝忘食地学习一门又一门语言，但编程效率和质量的提高却微乎其微。事实上，一个人编程能力的高低并不取决于其掌握的编程语言的数量，关键在于编程思维方式和运用能力。

函数式程序设计语言是高级程序设计语言的一个重要分支，在科学和工程计算有着广泛而有效的应用。最早的函数式语言 IPL 诞生于 1955 年，其后涌现的 OCaml、Erlang、Haskell、LISP、ML 等语言在学术界也都是闻名遐迩。函数式语言具有高度的数学抽象性，设计风格优雅、代码简洁高效，深受计算机理论研究者的欢迎。不过，纯粹的函数式语言学习起来难度较大，而且在用户界面、底层操作等能力上存在欠缺，因此未能得到普遍的商业应用。

随着近年来分布式计算技术的发展、特别是网格计算、云计算等新型计算模型的兴起，人们重新看到了函数式语言的巨大潜力。F#是 Microsoft 在 .NET 平台上研发的一门新的核心编程语言，它在函数式程序设计语言的基础上融合了面向对象的思想，使得人们能够在对象系统的开发过程中有效地运用函数式思维模式，从而大大提高计算密集型和分布式软件系统的质量和效率。

本书循序渐进地讲解了 F#的语法基础、编程范式和典型应用。全书共分为 19 章，其中第 1 章对 F#进行了概要介绍，第 2~5 章深入讲解了 F#的基本语法，第 6~8 章介绍了 F#中的典型数据结构和算法，第 9~11 章介绍了 F#中的面向对象编程方法，第 12 章和 13 章介绍了 F#中的泛型技术，第 14~19 章则分别介绍了 F#代码组织、Windows 界面、文件读写、数据库访问以及并程序序设计等应用开发技术。

全书内容安排由浅入深、由具体到抽象，书中各章都提供了大量的代码示例和课后习题；从第 3 章开始，每一章还专门开发了一个典型而完整的程序实例，以便读者贯穿所学知识、提高实践能力，进而将面向对象和函数式两种思维模式融会贯通，给编程能力带来质的飞跃。

本书可作为高等院校计算机专业教材，也可供 .NET 专业开发人员自学参考。书中全部源代码以及配套课件等资源可在清华大学出版社网站（www.tup.tsinghua.edu.cn）下载。

冯秋帆、朱连军、郑艳华、宋琴等参与了本书的部分文字编写和程序调试工作，清华大学出版社的员工对本书的策划和出版给予了积极的支持，在此谨对他们表示衷心的感谢。因时间仓促，书中的疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。对本书的意见和建议可发送邮件（主题请注明“FSharp 程序设计”）到：[bookzheng\(at\)yeah.net](mailto:bookzheng(at)yeah.net)。

编 者

2011 年 10 月于

浙江工业大学

目 录

第 1 章 F#简介	1
1.1 函数式程序设计语言和 F#	1
1.2 第一个 F#应用程序	2
1.3 开发工具和环境	4
1.3.1 F#编译器	4
1.3.2 Visual Studio IDE	4
1.3.3 F#交互式控制台	6
1.3.4 .NET Framework	6
1.4 F#典型应用	7
1.4.1 初等函数计算	8
1.4.2 统计分析	8
1.4.3 数列计算	9
1.4.4 数学分析	10
1.4.5 向量和矩阵计算	11
1.4.6 组合优化算法	12
1.5 控制台输入输出	13
习题 1	14
第 2 章 数值和类型	16
2.1 基础值类型	16
2.1.1 布尔数	16
2.1.2 整数	16
2.1.3 实数	18
2.1.4 字符和字符串	20
2.2 复合类型	21
2.2.1 元组	22
2.2.2 记录	23
2.2.3 联合	24
2.3 可变类型和引用类型	25
2.3.1 可变类型	25

2.3.2 引用类型	27
2.4 可选类型	28
习题 2	29
第 3 章 函数	30
3.1 函数基础	30
3.1.1 函数定义	30
3.1.2 形参和实参	31
3.1.3 空参数和空返回值	32
3.1.4 局部变量和全局变量	34
3.2 更多调用方式	35
3.2.1 参数前置与函数复合	35
3.2.2 函数局部应用	35
3.2.3 运算符作函数	36
3.3 模式匹配	37
3.3.1 模式匹配表达式	37
3.3.2 匹配机制	39
3.3.3 记录、联合和可选类型匹配	40
3.4 递归函数	41
3.5 调用 CLR 函数	43
3.5.1 概述	43
3.5.2 常用字符串函数	44
3.6 程序实例研究——背包问题算法	46
习题 3	47
第 4 章 深入整数和实数运算	49
4.1 数值比较	49
4.2 整数位运算	50
4.2.1 取补运算	50
4.2.2 与、或、异或运算	51
4.2.3 移位运算	52
4.3 常用数学函数	53
4.3.1 最大值和最小值	54
4.3.2 绝对值和取整	54
4.3.3 指数和对数函数	54
4.3.4 三角函数	55
4.4 数值转换与解析	56
4.4.1 基础数值转换	56
4.4.2 文本转换与解析	58

4.5 大数运算	59
4.5.1 使用 bigint	59
4.5.2 使用 bignum	61
4.6 程序实例研究——表达式求值	62
习题 4	63
第 5 章 流程控制	65
5.1 选择结构	65
5.2 循环结构	67
5.2.1 while 循环语句	67
5.2.2 for 循环语句	68
5.2.3 循环遍历语句	69
5.2.4 使用范围表达式	71
5.3 异常处理	72
5.3.1 错误和异常	72
5.3.2 异常类型	74
5.3.3 try-finally 异常处理结构	76
5.3.4 引发异常	77
5.3.5 传播异常	79
5.4 程序实例研究——素因数分解	80
习题 5	81
第 6 章 数组、向量和矩阵	83
6.1 数组	83
6.1.1 数组的定义和使用	83
6.1.2 Array 类型及其预定义函数	85
6.1.3 多维数组	87
6.2 向量	90
6.2.1 向量的定义和使用	90
6.2.2 向量运算	91
6.3 矩阵	93
6.3.1 矩阵的定义与使用	93
6.3.2 矩阵运算	94
6.3.3 矩阵的行向量与列向量	96
6.4 程序实例研究——最短路径问题	98
习题 6	99
第 7 章 列表、集合和序列	101
7.1 列表	101



7.1.1	概述	101
7.1.2	表连接操作	102
7.1.3	表头和表尾	103
7.1.4	其他 List 预定义函数	104
7.1.5	高阶列表	105
7.2	集合	106
7.2.1	概述	106
7.2.2	预定义集合操作	107
7.3	序列	109
7.3.1	序列的基本概念	109
7.3.2	预定义序列操作	111
7.3.3	序列创建表达式与延迟求值	112
7.4	程序实例研究——全排列和幂集	114
	习题 7	115
第 8 章	高阶函数	117
8.1	函数作为“值”	117
8.1.1	概述	117
8.1.2	函数作为参数	118
8.1.3	高阶函数中的函数局部应用	119
8.2	匿名函数	119
8.2.1	匿名函数表达式	119
8.2.2	函数作为返回值	121
8.3	序列上的高阶函数	123
8.3.1	测试和筛选	124
8.3.2	迭代应用	126
8.3.3	数值运算扩展	128
8.3.4	卷叠	129
8.3.5	展开	131
8.3.6	序列函数的综合运用	132
8.4	程序实例研究——数据拟合	133
	习题 8	135
第 9 章	类和对象	137
9.1	面向对象的基本概念	137
9.2	使用轻量级对象——记录和联合	138
9.3	类的定义和使用	139
9.3.1	类的定义	139
9.3.2	构造函数和对象初始化	140



9.3.3 函数成员中的可选参数和数组型参数	144
9.4 属性和索引函数	146
9.4.1 属性	146
9.4.2 索引函数	148
9.5 成员访问限制	150
9.6 静态成员和非静态成员	152
9.7 运算符重载	154
9.8 .NET 结构和枚举	156
9.8.1 使用结构类型	156
9.8.2 使用枚举类型	157
9.9 程序实例研究——三角模糊数	158
习题 9	160
第 10 章 继承和扩展	162
10.1 继承	162
10.1.1 类的继承定义	162
10.1.2 覆盖基类成员	164
10.1.3 基类与派生类的转换	165
10.2 多态性	166
10.2.1 虚拟与重载	166
10.2.2 虚拟属性	168
10.2.3 抽象成员和抽象类	169
10.3 .NET 基类 Object	170
10.3.1 使用 Object 对象	170
10.3.2 重载 ToString 函数	171
10.3.3 对象比较	172
10.3.4 类型判断与匹配	173
10.4 类型扩展	174
10.4.1 类级扩展	174
10.4.2 对象级扩展	176
10.5 程序实例研究——几何图形类型	177
习题 10	180
第 11 章 接口	182
11.1 接口的定义与实现	182
11.2 接口与多继承	185
11.2.1 继承多个接口	185
11.2.2 混合继承	187
11.3 几个常用.NET 接口	188

11.3.1	ICloneable 接口	189
11.3.2	IComparable 接口	189
11.3.3	IDisposable 接口	190
11.4	接口扩展	190
11.4.1	接口级扩展	190
11.4.2	对象级扩展	191
11.5	程序实例研究——票务接口与实现	192
习题 11		195
第 12 章	泛型基础	197
12.1	泛型的基本概念	197
12.1.1	一般类型的不足	197
12.1.2	定义泛型类	198
12.1.3	定义泛型函数	200
12.2	泛型结构、记录和联合	200
12.2.1	泛型结构	201
12.2.2	泛型记录	201
12.2.3	泛型联合	202
12.3	泛型接口与泛型集合	202
12.3.1	泛型接口	202
12.3.2	泛型集合与遍历	204
12.3.3	.NET 类库中的泛型集合	206
12.4	程序实例研究——备忘录与高效算法	209
习题 12		211
第 13 章	深入泛型技术	213
13.1	类型参数的应用与限制	213
13.1.1	使用多个类型参数	213
13.1.2	操作“抽象型”对象	214
13.1.3	类型限制	214
13.2	泛型中的继承	221
13.2.1	开放类型和封闭类型	221
13.2.2	泛型继承规则	221
13.3	泛型函数的高级应用	223
13.3.1	泛型函数中的类型限制	223
13.3.2	隐式泛型函数	224
13.3.3	静态解析的类型参数	225
13.3.4	内联泛型函数	225
13.4	程序实例研究——抽象代数结构与算法	227

习题 13	230
第 14 章 代码组织和管理	232
14.1 代码组织结构	232
14.1.1 模块	232
14.1.2 命名空间	233
14.1.3 使用简称	235
14.2 程序集	235
14.2.1 可执行文件	235
14.2.2 动态链接库文件	237
14.2.3 程序集中的访问限制	238
14.3 代码注释	238
14.3.1 单行和多行注释	238
14.3.2 XML 注释文档	239
14.4 条件编译	241
14.5 程序实例研究——概率分布函数库	244
习题 14	248
第 15 章 Windows 窗体应用基础	249
15.1 Windows 窗体类 Form	249
15.1.1 显示 Windows 窗体	249
15.1.2 设置窗体属性	250
15.2 常用窗体控件	252
15.2.1 Control、容器控件和子控件	252
15.2.2 标签、文本框和数值框	253
15.2.3 按钮、单选框和复选框	255
15.2.4 组合框和列表框	256
15.3 响应控件事件	257
15.3.1 事件基础	257
15.3.2 常用控件事件	259
15.4 自定义窗体	261
15.5 使用 Visual Studio 窗体设计器	263
15.6 程序实例研究——用户注册窗体	266
习题 15	269
第 16 章 Windows 窗体应用进阶	271
16.1 更多 Windows 控件	271
16.1.1 时间和日期控件	271

16.1.2	滑块、进度条和滚动条	272
16.1.3	列表视图和树状视图	274
16.1.4	工具栏、菜单栏和状态栏	275
16.1.5	为控件显示图像	277
16.2	绘图	278
16.2.1	GDI+基础	278
16.2.2	绘制各种线条和形状	280
16.2.3	填充形状	281
16.3	打印	283
16.4	程序实例研究——绘制几何图形	285
习题 16		288
第 17 章	文件读写	290
17.1	驱动器、目录和文件	290
17.1.1	驱动器	290
17.1.2	目录	291
17.1.3	文件	293
17.2	文件流和读写器	295
17.2.1	使用文件流	295
17.2.2	文本读写器	297
17.2.3	二进制读写器	298
17.3	XML 文档操作	299
17.3.1	XML 读写器	299
17.3.2	XML 文档对象操作	301
17.4	程序实例研究——列车时刻表	302
习题 17		305
第 18 章	关系数据访问	306
18.1	ADO.NET 数据访问技术	306
18.2	数据表和数据集	307
18.2.1	使用数据表	307
18.2.2	使用数据集	309
18.2.3	显示数据内容	309
18.3	访问数据库	311
18.3.1	建立数据连接	311
18.3.2	执行数据命令	312
18.3.3	使用数据适配器	314
18.4	程序实例研究——学生成绩查询分析	316
习题 18		320

第 19 章 并行程序设计	322
19.1 多线程.....	322
19.1.1 进程与线程.....	322
19.1.2 运行多线程.....	323
19.1.3 线程资源共享.....	325
19.2 使用 BackgroundWorker.....	327
19.3 并行序列操作.....	331
19.4 异步计算.....	332
19.4.1 使用异步工作流.....	332
19.4.2 异步绑定和返回.....	336
19.4.3 异步任务模式.....	337
19.4.4 异步文件读写.....	339
19.4.5 异步数据库访问.....	341
19.5 异步消息.....	342
19.6 程序实例研究——并行启发式搜索.....	345
习题 19.....	347
参考文献	349