Broadview
www.broadview.com.cn

PEARSON

快学 Scala

[美] Cay S. Horstmann 著
高宇翔 译

Martin Odersky作序力荐

Scala for the Impatient

電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
http://www.phei.com.cn

Broadview
www.broadview.com.cn
博文视点·IT出版旗舰品牌
技术凝聚实力·专业创新出版

快学Scala

Scala是一门以Java虚拟机（JVM）为目标运行环境并将面向对象和函数式编程语言的最佳特性结合在一起的编程语言。你可以使用Scala编写出更加精简的程序，同时充分利用并发的威力。由于Scala运行于JVM之上，因此它可以访问任何Java类库并且与Java框架进行互操作。

本书以十分精简的文字向开发人员展示了Scala的能力和使用方法。在本书中，国际畅销书《Java核心技术》的主要作者Cay S. Horstmann完全从实用角度出发，给出了一份快速的、基于代码的入门指南。Horstmann以“博客文章大小”的篇幅介绍了Scala的概念，让你可以快速地掌握和应用。实际上手的操作，清晰定义的能力层次，从初级到专家级，全程指导。本书涵盖的内容包括：

- ◎ 快速熟悉Scala解释器、语法、工具和独有的使用习惯
- ◎ 掌握核心语言特性：函数、数组、映射、元组、包、引入、异常处理等
- ◎ 熟悉Scala面向对象编程：类、继承和特质
- ◎ 使用Scala处理现实世界的编程任务：操作文件、正则表达式和XML
- ◎ 使用高阶函数和功能强大的Scala集合类库
- ◎ 利用Scala强大的模式匹配和样例类
- ◎ 用Scala actor创建并发程序
- ◎ 实现领域特定语言
- ◎ 理解Scala类型系统
- ◎ 应用高级的“强力工具”，如注解、隐式转换和隐式参数，以及定界延续

Scala正迅速接近引爆点，将重塑整个编程体验。本书将帮助面向对象的程序员在已有技能基础上快速地构造出有用的应用，然后逐步掌握那些高级的编程技巧。

Cay S. Horstmann是《Java核心技术》卷1和卷2第8版（Prentice Hall出版社2008年出版）的主要作者，除此之外，他还著有其他十多本面向专业程序员和计算机科学专业学生的书籍。他是San Jose州立大学计算机科学专业的教授，同时还是一位Java Champion。

PEARSON
www.pearson.com

策划编辑：张春雨
责任编辑：李云静
封面设计：李 玲

上架建议：计算机/程序设计

ISBN 978-7-121-18567-0
9 787121 185670 >
定价：79.00元

快学Scala

Scala
for the Impatient

[美] Cay S. Horstmann 著
高宇翔 译

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京•BEIJING

内容简介

Scala是一门以Java虚拟机（JVM）为目标运行环境并将面向对象和函数式编程语言的最佳特性结合在一起的编程语言。你可以使用Scala编写出更加精简的程序，同时充分利用并发的威力。由于Scala运行于JVM之上，因此它可以访问任何Java类库并且与Java框架进行互操作。本书从实用角度出发，给出了一份快速的、基于代码的入门指南。Horstmann以“博客文章大小”的篇幅介绍了Scala的概念，让你可以快速地掌握和应用。实际上手的操作，清晰定义的能力层次，从初级到专家级，全程指导。

本书适合有一定的Java编程经验、对Scala感兴趣，并希望尽快掌握Scala核心概念和用法的开发者阅读。

Authorized translation from the English language edition, entitled Scala for the Impatient, 1E, 9780321774095 by Cay S. Horstmann, published by Pearson Education, Inc, publishing as Addison Wesley Professional, Copyright©2012 Pearson Education Inc.
All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.
CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and PUBLISHING HOUSE OF ELECTORNICS INDUSTRY Copyright ©2012

本书简体中文版专有出版权由Pearson Education培生教育出版亚洲有限公司授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。
本书简体中文版贴有Pearson Education培生教育出版集团激光防伪标签，无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号　图字：01-2012-6207

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

快学Scala /（美）霍斯曼（Horstmann,C.S.）著；高宇翔译. —北京：电子工业出版社，2012.10
书名原文：Scala for the Impatient
ISBN 978-7-121-18567-0

Ⅰ.①快… Ⅱ.①霍… ②高… Ⅲ.①JAVA语言－程序设计 Ⅳ.①TP312

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第222314号

策划编辑：张春雨
责任编辑：李云静
印　　刷：中国电影出版社印刷厂
装　　订：三河市皇庄路通装订厂
出版发行：电子工业出版社
　　北京市海淀区万寿路173信箱　　邮编：100036
开　　本：787×980　1/16　　印张：25.5　　字数：453千字
印　　次：2012年10月第1次印刷
定　　价：79.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。
质量投诉请发邮件至zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。
服务热线：（010）88258888。

译 者 序

Scala是一门十分有趣又非常实用的语言，它以JVM为目标环境，将面向对象和函数式编程有机地结合在一起，带来独特的编程体验。

它既有动态语言那样的灵活简洁，同时又保留了静态类型检查带来的安全保障和执行效率，加上其强大的抽象能力，既能处理脚本化的临时任务，又能处理高并发场景下的分布式互联网大数据应用，可谓能缩能伸。

我大约是从2009年开始接触Scala的。在此之前曾做过多年的Java开发，其间也陆陆续续接触过JRuby、Groovy和Python，但没有一门语言能像Scala这样，让我产生持续的兴趣和热情，让我重新感受到学习、思考和解决问题的乐趣。Scala为我开了一扇窗，将我带进了函数式编程的世界，在打破旧有思维模式的同时，让我的整个计算机编程的知识体系重组，看待很多技术问题的角度都不一样了。这种感觉，不亚于早几年前接触Linux。

Scala不光是一门值得用心学习的语言，同时也是一门可以直接上手拿来解决实际问题的语言。它跟Java的集成度很高，可以直接使用Java社区大量成熟的技术框架和方案。由于它直接编译成Java字节码，因此我们可以充分利用JVM这个高性能的运行平台为我们提供的便利和保障。

目前国内外已经有很多公司和个人采用Scala来构建他们的平台和应用。作为JVM上第一个获得广泛成功的非Java语言，Scala正以它独特的魅力吸引着越来越多人的热情投入。

你手里的这本书，出自《Java核心技术》（*Core Java*）的作者，Cay S. Horstmann。每一章的篇幅都不长，娓娓道来，沁人心脾，适合有一定经验的Java程序员阅读。几乎所有Scala相关的核心内容都有涉及，由浅入深，深入浅出，非常适合快速上手。

当然了，如果你想要用好Scala，想把它发挥到更高的层次，基本功必须扎实。这本书讲的都是基本招式，看似平实无华，实则招招受用，对于一线开发人员，实在是

目　录

译者序 III
序 XV
前言 XVII
作者简介 XIX

第1章　基础 A1 1
1.1 Scala解释器 1
1.2 声明值和变量 3
1.3 常用类型 4
1.4 算术和操作符重载 5
1.5 调用函数和方法 7
1.6 apply方法 8
1.7 Scaladoc 9
练习 11

第2章　控制结构和函数 A1 13
2.1 条件表达式 14
2.2 语句终止 16
2.3 块表达式和赋值 16
2.4 输入和输出 17
2.5 循环 18
2.6 高级for循环和for推导式 19
2.7 函数 21

5.3 只带getter的属性 55
5.4 对象私有字段 56
5.5 Bean属性 L1 57
5.6 辅助构造器 59
5.7 主构造器 60
5.8 嵌套类 L1 63
练习 65

第6章 对象 A1 69
6.1 单例对象 69
6.2 伴生对象 70
6.3 扩展类或特质的对象 71
6.4 apply方法 72
6.5 应用程序对象 73
6.6 枚举 74
练习 75

第7章 包和引入 A1 79
7.1 包 80
7.2 作用域规则 81
7.3 串联式包语句 83
7.4 文件顶部标记法 83
7.5 包对象 84
7.6 包可见性 85
7.7 引入 85
7.8 任何地方都可以声明引入 86
7.9 重命名和隐藏方法 87
7.10 隐式引入 87
练习 88

第8章 继承 A1 91
8.1 扩展类 91

8.2 重写方法 92
8.3 类型检查和转换 93
8.4 受保护字段和方法 94
8.5 超类的构造 94
8.6 重写字段 95
8.7 匿名子类 96
8.8 抽象类 97
8.9 抽象字段 97
8.10 构造顺序和提前定义 L3 98
8.11 Scala继承层级 100
8.12 对象相等性 L1 101
练习 102

第9章 文件和正则表达式 A1 105

9.1 读取行 106
9.2 读取字符 106
9.3 读取词法单元和数字 107
9.4 从URL或其他源读取 108
9.5 读取二进制文件 108
9.6 写入文本文件 108
9.7 访问目录 109
9.8 序列化 110
9.9 进程控制 A2 111
9.10 正则表达式 113
9.11 正则表达式组 114
练习 114

第10章 特质 L1 117

10.1 为什么没有多重继承 117
10.2 当做接口使用的特质 119
10.3 带有具体实现的特质 120
10.4 带有特质的对象 121
10.5 叠加在一起的特质 122
10.6 在特质中重写抽象方法 124

10.7 当做富接口使用的特质 124
10.8 特质中的具体字段 125
10.9 特质中的抽象字段 126
10.10 特质构造顺序 127
10.11 初始化特质中的字段 129
10.12 扩展类的特质 131
10.13 自身类型 L2 132
10.14 背后发生了什么 133
练习 135

第11章 操作符 L1 139

11.1 标识符 139
11.2 中置操作符 140
11.3 一元操作符 141
11.4 赋值操作符 142
11.5 优先级 142
11.6 结合性 143
11.7 apply和update方法 144
11.8 提取器 L2 145
11.9 带单个参数或无参数的提取器 L2 146
11.10 unapplySeq方法 L2 147
练习 148

第12章 高阶函数 L1 151

12.1 作为值的函数 151
12.2 匿名函数 152
12.3 带函数参数的函数 153
12.4 参数（类型）推断 154
12.5 一些有用的高阶函数 155
12.6 闭包 156
12.7 SAM转换 157
12.8 柯里化 158
12.9 控制抽象 159
12.10 return表达式 161

练习 162

第13章 集合 A2 165

13.1 主要的集合特质 166
13.2 可变和不可变集合 167
13.3 序列 168
13.4 列表 169
13.5 可变列表 170
13.6 集 171
13.7 用于添加或去除元素的操作符 173
13.8 常用方法 175
13.9 将函数映射到集合 177
13.10 化简、折叠和扫描 A3 178
13.11 拉链操作 181
13.12 迭代器 183
13.13 流 A3 184
13.14 懒视图 185
13.15 与Java集合的互操作 186
13.16 线程安全的集合 188
13.17 并行集合 188
练习 190

第14章 模式匹配和样例类 A2 193

14.1 更好的switch 194
14.2 守卫 195
14.3 模式中的变量 195
14.4 类型模式 196
14.5 匹配数组、列表和元组 197
14.6 提取器 198
14.7 变量声明中的模式 199
14.8 for表达式中的模式 199
14.9 样例类 200
14.10 copy方法和带名参数 201
14.11 case语句中的中置表示法 201

14.12 匹配嵌套结构 202
14.13 样例类是邪恶的吗 203
14.14 密封类 204
14.15 模拟枚举 205
14.16 Option类型 205
14.17 偏函数 L2 207
练习 207

第15章 注解 A2 211

15.1 什么是注解 212
15.2 什么可以被注解 212
15.3 注解参数 213
15.4 注解实现 214
15.5 针对Java特性的注解 216
15.5.1 Java修饰符 216
15.5.2 标记接口 216
15.5.3 受检异常 217
15.5.4 变长参数 217
15.5.5 JavaBeans 218
15.6 用于优化的注解 219
15.6.1 尾递归 219
15.6.2 跳转表生成与内联 220
15.6.3 可省略方法 221
15.6.4 基本类型的特殊化 222
15.7 用于错误和警告的注解 223
练习 224

第16章 XML处理 A2 227

16.1 XML字面量 228
16.2 XML节点 228
16.3 元素属性 230
16.4 内嵌表达式 231
16.5 在属性中使用表达式 232
16.6 特殊节点类型 233

16.7 类XPath表达式 234
16.8 模式匹配 235
16.9 修改元素和属性 236
16.10 XML变换 237
16.11 加载和保存 238
16.12 命名空间 241
练习 242

第17章 类型参数 L2 245

17.1 泛型类 246
17.2 泛型函数 246
17.3 类型变量界定 246
17.4 视图界定 248
17.5 上下文界定 249
17.6 Manifest上下文界定 249
17.7 多重界定 250
17.8 类型约束 L3 250
17.9 型变 252
17.10 协变和逆变点 253
17.11 对象不能泛型 255
17.12 类型通配符 256
练习 257

第18章 高级类型 L2 259

18.1 单例类型 259
18.2 类型投影 261
18.3 路径 262
18.4 类型别名 263
18.5 结构类型 264
18.6 复合类型 265
18.7 中置类型 266
18.8 存在类型 267
18.9 Scala类型系统 268
18.10 自身类型 269

18.11 依赖注入 271
18.12 抽象类型 L3 272
18.13 家族多态 L3 274
18.14 高等类型 L3 278
练习 281

第19章 解析 A3 285

19.1 文法 286
19.2 组合解析器操作 287
19.3 解析器结果变换 289
19.4 丢弃词法单元 291
19.5 生成解析树 291
19.6 避免左递归 292
19.7 更多的组合子 294
19.8 避免回溯 296
19.9 记忆式解析器 297
19.10 解析器说到底是什么 297
19.11 正则解析器 299
19.12 基于词法单元的解析器 299
19.13 错误处理 302
练习 302

第20章 Actor A3 305

20.1 创建和启动Actor 306
20.2 发送消息 307
20.3 接收消息 308
20.4 向其他Actor发送消息 309
20.5 消息通道 310
20.6 同步消息和Future 311
20.7 共享线程 313
20.8 Actor的生命周期 316
20.9 将多个Actor链接在一起 317
20.10 Actor的设计 318
练习 320

第21章 隐式转换和隐式参数 L3 323
21.1 隐式转换 324
21.2 利用隐式转换丰富现有类库的功能 324
21.3 引入隐式转换 325
21.4 隐式转换规则 326
21.5 隐式参数 328
21.6 利用隐式参数进行隐式转换 329
21.7 上下文界定 330
21.8 类型证明 331
21.9 @implicitNotFound注解 333
21.10 CanBuildFrom解读 333
练习 336

第22章 定界延续 L3 339
22.1 捕获并执行延续 340
22.2 “运算当中挖个洞” 341
22.3 reset和shift的控制流转 342
22.4 reset表达式的值 343
22.5 reset和shift表达式的类型 344
22.6 CPS注解 345
22.7 将递归访问转化为迭代 347
22.8 撤销控制反转 349
22.9 CPS变换 353
22.10 转换嵌套的控制上下文 356
练习 358

词汇表 360

索引 367

Chapter 1

在本章中，你将学到如何把Scala当做工业级的便携计算器使用，如何用Scala处理数字以及其他算术操作。在这个过程中，我们将介绍一系列重要的Scala概念和惯用法。同时你还将学到作为初学者如何浏览Scaladoc文档。

本章的要点包括：

- 使用Scala解释器
- 用var和val定义变量
- 数字类型
- 使用操作符和函数
- 浏览Scaladoc

1.1 Scala解释器

启动Scala解释器的步骤如下：

- 安装Scala。
- 确保scala/bin目录位于系统PATH中。
- 在你的操作系统中打开命令行窗口。
- 键入scala并按Enter键。

提示：不喜欢命令行？你也可以通过其他方式运行Scala解释器，参见 http://horstmann.com/scala/install。

现在，键入命令，然后按Enter键。每一次，解释器都会显示出结果。例如，当你键入“8 * 5 + 2”（如下面加粗的文字），将得到42。

```
scala> 8 * 5 + 2
res0: Int = 42
```

答案被命名为res0，你可以在后续操作中使用这个名称：

```
scala> 0.5 * res0
res1: Double = 21.0
scala> "Hello," + res0
res2: java.lang.String = Hello, 42
```

正如你所看到的，解释器同时还会显示结果的类型——拿本例来说就是Int、Double和java.lang.String。

你可以调用方法。根据启动解释器的方式的不同，你可能可以使用Tab键补全而不用完整地手工键入方法名。你可以试着键入res2.to，然后按Tab键，如果解释器给出了如下选项：

```
toCharArray toLowerCase toString toUpperCase
```

说明Tab键补全功能是好的。接下来键入U并再次按Tab键，你应该就能定位到单条补全如下：

```
res2.toUpperCase
```

按下Enter键，结果就会被显示出来。（如果在你的环境中无法使用Tab键补全，那你就只好自行键入完整的方法名了。）

同样地，可以试试按↑和↓方向键。在大多数实现当中，你将看到之前提交过的命令，并且可以进行编辑。用←、→和Del键将上一条命令修改为：

```
res2.toLowerCase
```

正如你所看到的，Scala解释器读到一个表达式，对它进行求值，将它打印出来，接着再继续读下一个表达式。这个过程被称做读取-求值-打印-循环，即REPL。

从技术上讲，scala程序并不是一个解释器。实际发生的是，你输入的内容被快速地编译成字节码，然后这段字节码交由Java虚拟机执行。正因如此，大多数Scala程序员更倾向于将它称做“REPL”。

提示：REPL是你的朋友。即时反馈鼓励我们尝试新的东西；而且，如果它跑出你想要的效果，你会很有成就感。

同时，打开一个编辑器窗口也是个不错的主意，这样你就可以将成功运行的代码片段复制、粘贴出来供今后使用。同样地，当你尝试更复杂的示例时，你也许会想要在编辑器中组织好以后再贴到REPL。

1.2 声明值和变量

除了直接使用res0、res1等这些名称之外，你也可以定义自己的名称：

```
scala> val answer = 8 * 5 + 2
answer: Int = 42
```

你可以在后续表达式中使用这些名称：

```
scala> 0.5 * answer
res3: Double = 21.0
```

以val定义的值实际上是一个常量——你无法改变它的内容：

```
scala> answer = 0
<console>:6: error: reassignment to val
```

如果要声明其值可变的变量，可以用var：

```
var counter = 0
counter = 1 // OK，我们可以改变一个var
```

在Scala中，我们鼓励你使用val——除非你真的需要改变它的内容。Java或C++程序员也许会感到有些意外的是，大多数程序并不需要那么多var变量。

注意，你不需要给出值或者变量的类型，这个信息可以从你用来初始化它的表达式推断出来。（声明值或变量但不做初始化会报错。）

不过，在必要的时候，你也可以指定类型。例如：

```
val greeting: String = null
val greeting: Any = "Hello"
```

3

说明：在Scala中，变量或函数的类型总是写在变量或函数名称的后面。这使得我们更容易阅读那些复杂类型的声明。

当我在Scala和Java之间来回切换的时候，我发现我经常无意识地敲出Java方式的声明，比如String greeting，需要手工改成greeting: String。这有些烦人，但每当我面对复杂的Scala程序时，我都会心存感激，因为我不需要再去解读那些C风格的类型声明。

说明：你可能已经注意到，在变量声明或赋值语句之后，我们并没有使用分号。在Scala中，仅当同一行代码中存在多条语句时才需要用分号隔开。

你可以将多个值或变量放在一起声明：

```
val xmax, ymax = 100 // 将xmax和ymax设为100
var greeting, message: String = null
  // greeting和message都是字符串，被初始化为null
```

1.3 常用类型

到目前为止你已经看到过Scala数据类型中的一些，比如Int和Double。和Java一样，Scala也有7种数值类型：Byte、Char、Short、Int、Long、Float和Double，以及1个Boolean类型。跟Java不同的是，这些类型是类。Scala并不刻意区分基本类型和引用类型。你可以对数字执行方法，例如：

```
1.toString() // 产出字符串"1"
```

或者，更有意思的是，你可以：

```
1.to(10) // 产出Range(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
```

（我们将在第13章介绍Range类，现在你只需要把它当做一组数字就好。）

在Scala中，我们不需要包装类型。在基本类型和包装类型之间的转换是Scala编译器的工作。举例来说，如果你创建一个Int的数组，最终在虚拟机中得到的是一个int[]数组。

正如你在1.1节中看到的那样，Scala用底层的java.lang.String类来表示字符串。不过，它通过StringOps类给字符串追加了上百种操作。

4

举例来说，intersect方法输出两个字符串共通的一组字符：

```
"Hello".intersect("World") // 输出"lo"
```

在这个表达式中，java.lang.String对象"Hello"被隐式地转换成了一个StringOps对象，接着StringOps类的intersect方法被应用。

因此，在使用Scala文档（参见1.7节）的时候，记得要看一下StringOps类。

同样地，Scala还提供了RichInt、RichDouble、RichChar等。它们分别提供了它们可怜的堂兄弟们——Int、Double、Char等——所不具备的便捷方法。我们前面用到的to方法事实上就是RichInt类中的方法。在表达式

```
1.to(10)
```

中，Int值1首先被转换成RichInt，然后再应用to方法。

最后，还有BigInt和BigDecimal类，用于任意大小（但有穷）的数字。这些类背后分别对应的是java.math.BigInteger和java.math.BigDecimal，不过，在1.4节你会看到，它们用起来更加方便，你可以用常规的数学操作符来操作它们。

说明：在Scala中，我们用方法，而不是强制类型转换，来做数值类型之间的转换。举例来说，99.44.toInt得到99，99.toChar得到'c'。当然，和Java一样，toString将任意的对象转换成字符串。

要将包含了数字的字符串转换成数值，使用toInt或toDouble。例如，"99.44".toDouble得到99.44。

1.4 算术和操作符重载

Scala的算术操作符和你在Java或C++中预期的效果是一样的：

```
val answer = 8 * 5 + 2
```

+ - * / % 等操作符完成的是它们通常的工作，位操作符 & | ^ >> <<也一样。只是有一点特别的：这些操作符实际上是方法。例如：

```
a + b
```

是如下方法调用的简写：

5

```
a.+(b)
```

这里的+是方法名。Scala并不会傻乎乎地对方法名中使用非字母或数字这种做法带有偏见。你可以使用几乎任何符号来为方法命名。比如，BigInt类就定义了一个名为/%的方法，该方法返回一个对偶，而对偶的内容是除法操作得到的商和余数。

通常来说，你可以用

```
a 方法 b
```

作为以下代码的简写：

```
a.方法(b)
```

这里的*方法*是一个带有两个参数的方法（一个隐式的和一个显式的）。例如

```
1.to(10)
```

可以写成：

```
1 to 10
```

采用哪种风格取决于对你来说哪一种更可读。刚开始接触Scala的程序员倾向于使用Java语法风格，这完全没问题。当然了，即便是最坚定的Java程序员似乎也会选 a + b 而不是 a.+(b) 。

和Java或C++相比，Scala有一个显著的不同，Scala并没有提供++和--操作符，我们需要使用 += 1 或者 -= 1：

```
counter += 1 // 将counter递增——Scala没有++
```

有人会问Scala到底是因为什么深层次的原因而拒绝提供++操作符。（注意，你无法简单地实现一个名为++的方法，因为Int类是不可变的，这样一个方法并不能改变某个整数类型的值。）Scala的设计者们认为不值得为少按一个键额外增加一个特例。

对于BigInt和BigDecimal对象，你可以以常规的方式使用那些数学操作符：

```
val x: BigInt = 1234567890
x * x * x // 将产出1881676371789154860897069000
```

这比Java好多了，在Java中同样的操作需要写成 x.multiply(x).multiply(x)。

说明：在Java中，你不能对操作符进行重载，Java的设计者们给出的解释是，这样做防止大家创造出类似 !@$&* 这样的操作符，使程序变得没法读。这当然是个糟糕的决定；你完全可以用类似 qxywz 这样的方法名，让你的程序变得同样没法读。Scala允许你定义操作符，由你来决定是否要在必要时有分寸地使用这个特性。

6

1.5 调用函数和方法

除了方法之外，Scala还提供函数。相比Java，在Scala中使用数学函数（比如min或pow）更为简单——你不需要从某个类调用它的静态方法。

```
sqrt(2) // 将产出1.4142135623730951
pow(2, 4) // 将产出16.0
min(3, Pi) // 将产出3.0
```

这些数学函数是在scala.math包中定义的。你可以用如下语句进行引入：

```
import scala.math._ // 在Scala中，_字符是“通配符”，类似Java中的*
```

说明：使用以scala.开头的包时，我们可以省去scala前缀。例如，import math._等同于import scala.math._，而math.sqrt(2)等同于scala.math.sqrt(2)。

我们将在第7章更详细地探讨import语句，现阶段你只需要在引入特定包时使用import 包名._即可。

Scala没有静态方法，不过它有个类似的特性，叫做*单例对象*（singleton object），我们将在第6章中详细介绍。通常，一个类对应有一个*伴生对象*（companion object），其方法就跟Java中的静态方法一样。举例来说，BigInt类的BigInt伴生对象有一个生成指定位数的随机素数的方法probablePrime：

```
BigInt.probablePrime(100, scala.util.Random)
```

在REPL运行上述代码，你会得到类似1039447980491200275486540240713这样的数字。注意BigInt.probablePrime这样的调用和Java中的静态方法调用很相似。

说明：这里的Random是一个单例的随机数生成器对象，而该对象是在scala.util包中定义的。这是用单例对象比用类更好的为数不多的场景之一。在Java中，为每个随机数都构造出一个新的java.util.Random对象是一个常见的错误。

不带参数的Scala方法通常不使用圆括号。例如，StringOps类的API显示它有一个distinct方法，不带()，其作用是获取字符串中不重复的字符。调用方法如下：

```
"Hello".distinct
```

一般来讲，没有参数且不改变当前对象的方法不带圆括号。我们将在第5章中进一步探讨这个话题。

7

1.6 apply方法

在Scala中，我们通常都会使用类似函数调用的语法。举例来说，如果s是一个字符串，那么s(i)就是该字符串的第i个字符。（在C++中，你会写s[i]；而在Java中，你会这样写：s.charAt(i)。）在REPL中运行如下代码：

```
"Hello"(4) // 将产出 'o'
```

你可以把这种用法当做是()操作符的重载形式，它背后的实现原理是一个名为apply的方法。举例来说，在StringOps类的文档中，你会发现这样一个方法：

```
def apply(n: Int): Char
```

也就是说，"Hello"(4)是如下语句的简写：

```
"Hello".apply(4)
```

如果你去看BigInt伴生对象的文档，就会看到让你将字符串或数字转换为BigInt对象的apply方法。举例来说，如下调用

```
BigInt("1234567890")
```

是如下语句的简写：

```
BigInt.apply("1234567890")
```

这个语句产出一个新的BigInt对象，不需要使用new。例如：

```
BigInt("1234567890") * BigInt("112358111321")
```

像这样使用伴生对象的apply方法是Scala中构建对象的常用手法。例如，Array(1, 4, 9, 16)返回一个数组，用的就是Array伴生对象的apply方法。

1.7 Scaladoc

Java程序员们使用Javadoc来浏览Java API。Scala也有它自己的版本，叫做Scaladoc（参见图1-1）。

相比Javadoc，浏览Scaladoc更具挑战性。Scala类通常比Java类拥有多得多的便捷方法。有些方法使用了你还没学到的特性。而且，有些特性展示出来的是它们的实现细节而并不是使用指南。（Scala开发团队正在努力改进Scaladoc的展示，以便它在将来对于初学者更为友好和易于理解。）

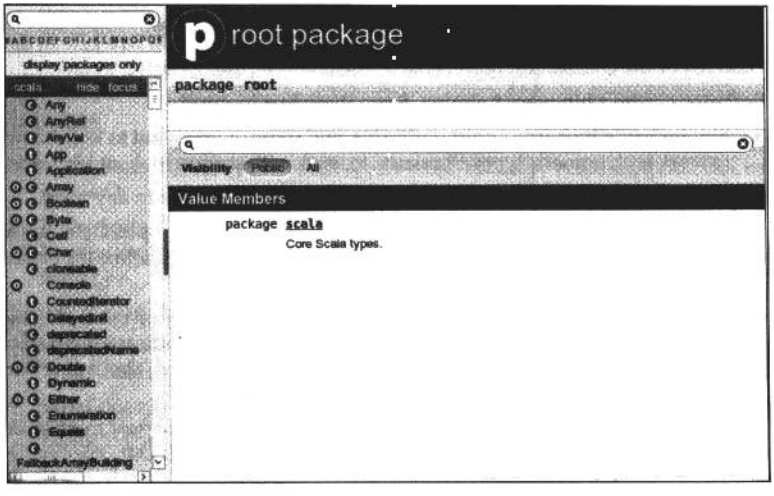


图1-1 Scaladoc的入口页

这里有一些针对初学者的建议。

你可以在 www.scala-lang.org/api 在线浏览Scaladoc，不过，从 www.scala-lang.org/downloads#api 下载一个副本安装到本地也是个不错的主意。

和Javadoc按照字母顺序列出类清单不同，Scaladoc的类清单按照包排序。如果你知道类名但不知道包名，可以用位于左上角的过滤器（参见图1-2）。

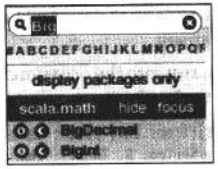


图1-2 Scaladoc中的过滤器框

点击×号可以清空过滤器。

注意每个类名旁边的O和C，它们分别链接到对应的类（C）或伴生对象（O）。

由于信息量大，Scaladoc可能读起来会比较累人。请记住以下这些小窍门。

- 如果你想使用数值类型，记得看看RichInt、RichDouble等。同理，如果想使用字符串，记得看看SpringOps。
- 那些数学函数位于scala.math包中，而不是位于某个类中。
- 有时你会看到名称比较奇怪的函数。比如，BigInt有一个方法叫做unary_-。在第11章你将会看到，这就是你定义前置的负操作符-x的方式。
- 标记为implicit的方法对应的是自动（隐式）转换。比如，BigInt对象拥有在需要时自动被调用的由int和long转换为BigInt的方法。更多关于隐式转换的内容参见第21章。
- 方法可以以函数作为参数。例如，StringOps的count方法需要传入一个接受单个Char并返回true或false的函数，用于指定哪些字符应当被清点：

```
def count(p: (Char) => Boolean) : Int
```

调用类似方法时，你通常可以一种非常紧凑的表示法给出函数定义。例如，s.count(_.isUpper)的作用是清点所有大写字母的数量。我们将在第12章探讨更多关于这种编程风格的内容。

- 你时不时地会遇到类似Range或Seq[Char]这样的类。它们的含义和你的直觉告诉你的一样：一个是数字区间，一个是字符序列。随着你深入了解Scala，你将会学到关于这些类的一切。

- 别被这么多方法吓到了，这是Scala应对各种可能场景的一种方式。当你需要解决某个特定问题时，只管去查找对你有用的方法。通常都会有某个方法能够解决你要处理的问题，这意味着，你不需要自己编写这么多的代码。
- 最后，当你偶尔遇到类似StringOps类中这样的看上去几乎没法一下子理解的方法签名时

```
def patch [B >: Char, That](from: Int, patch: GenSeq[B], replaced: Int)
(implicit bf: CanBuildFrom[String, B, That]): That
```

别紧张，直接忽略即可。还有另一个版本的patch，看上去更容易讲得通：

```
def patch(from: Int, that: GenSeq[Char], replaced: Int): StringOps[A]
```

10

如果你把GenSeq[Char]和StringOps[A]都当做String的话，这个方法从文档理解起来就简单多了。当然，在REPL中试用也很容易：

```
"Harry".patch(1, "ung", 2) // 将产出"Hungry"
```

练习

1. 在Scala REPL中键入3，然后按Tab键。有哪些方法可以被应用？
2. 在Scala REPL中，计算3的平方根，然后再对该值求平方。现在，这个结果与3相差多少？（提示：res变量是你的朋友。）
3. res变量是val还是var？
4. Scala允许你用数字去乘字符串——去REPL中试一下 "crazy" * 3 。这个操作做什么？在Scaladoc中如何找到这个操作？
5. 10 max 2的含义是什么？max方法定义在哪个类中？
6. 用BigInt计算2的1024次方。
7. 为了在使用probablePrime(100, Random)获取随机素数时不在probablePrime和Radom之前使用任何限定符，你需要引入什么？
8. 创建随机文件的方式之一是生成一个随机的BigInt，然后将它转换成三十六进制，输出类似"qsnvbevtomcj38o06kul"这样的字符串。查阅Scaladoc，找到在Scala中实现该逻辑的办法。
9. 在Scala中如何获取字符串的首字符和尾字符？
10. take、drop、takeRight和dropRight这些字符串函数是做什么用的？和substring相比，它们的优点和缺点都有哪些？

11

第2章　控制结构和函数

本章的主题 A1

- 2.1　条件表达式——第14页
- 2.2　语句终止——第16页
- 2.3　块表达式和赋值——第16页
- 2.4　输入和输出——第17页
- 2.5　循环——第18页
- 2.6　高级for循环和for推导式——第19页
- 2.7　函数——第21页
- 2.8　默认参数和带名参数 L1 ——第22页
- 2.9　变长参数 L1 ——第22页
- 2.10 过程——第23页
- 2.11 懒值 L1 ——第24页
- 2.12 异常——第25页
- 练习——第27页

Chapter 2

在本章中，你将学到如何在Scala中使用条件表达式、循环和函数。你会看到Scala和其他编程语言之间一个根本性的差异。在Java或C++中，我们把表达式（比如3 + 4）和语句（比如if语句）看做两样不同的东西。表达式有值，而语句执行动作。在Scala中，几乎所有构造出来的语法结构都有值。这个特性使得程序更加精简，也更易读。

本章的要点包括：

- if表达式有值。
- 块也有值——是它最后一个表达式的值。
- Scala的for循环就像是“增强版”的Java for循环。
- 分号（在绝大多数情况下）不是必需的。
- void类型是Unit。
- 避免在函数定义中使用return。
- 注意别在函数式定义中漏掉了=。
- 异常的工作方式和Java或C++中基本一样，不同的是你在catch语句中使用“模式匹配”。
- Scala没有受检异常。

2.1 条件表达式

Scala的if/else语法结构和Java或C++一样。不过，在Scala中if/else表达式有值，这个值就是跟在if或else之后的表达式的值。例如：

```
if (x > 0) 1 else -1
```

上述表达式的值是1或-1，具体是哪一个取决于x的值。你可以将if/else表达式的值赋值给变量：

```
val s = if (x > 0) 1 else -1
```

这与如下语句的效果一样：

```
if (x > 0) s = 1 else s = -1
```

不过，第一种写法更好，因为它可以用来初始化一个val。而在第二种写法当中，s必须是var。

（之前已经提过，Scala中的分号绝大多数情况下不是必需的——参见2.2节。）

Java和C++有一个?:操作符用于同样目的。如下表达式

```
x > 0 ? 1 : -1 // Java或C++
```

等同于Scala表达式 if (x > 0) 1 else −1。不过，你不能在?:表达式中插入语句。Scala的if/else将在Java和C++中分开的两个语法结构if/else和?:结合在了一起。

在Scala中，每个表达式都有一个类型。举例来说，表达式 if (x > 0) 1 else −1的类型是Int，因为两个分支的类型都是Int。混合类型表达式，比如：

```
if (x > 0) "positive" else -1
```

上述表达式的类型是两个分支类型的公共超类型。在本例中，其中一个分支是java.lang.String，而另一个分支是Int。它们的公共超类型叫做Any。（详细内容参见8.11节。）

如果else部分缺失了，比如：

```
if (x > 0) 1
```

那么有可能if语句没有输出值。但是在Scala中，每个表达式都应该有某种值。这个问题的解决方案是引入一个Unit类，写做()。不带else的这个if语句等同于

```
if (x > 0) 1 else ()
```

你可以把()当做是表示“无有用值”的占位符，将Unit当做Java或C++中的void。

（从技术上讲，void没有值但是Unit有一个表示“无值”的值。如果你一定要深究的话，这就好比空的钱包和里面有一张写着“没钱”的无面值钞票的钱包之间的区别。）

说明：Scala没有switch语句，不过它有一个强大得多的模式匹配机制，我们将在第14章中看到。在现阶段，用一系列的if语句就好。

注意：REPL比起编译器来更加“近视”——它在同一时间只能看到一行代码。举例来说，当你键入如下代码时：

```
if (x > 0) 1
else if (x == 0) 0 else -1
```

REPL会执行 if (x > 0) 1，然后显示结果。之后它看到接下来的else关键字就会不知所措。

如果你想在else前换行的话，用花括号：

```
if (x > 0) { 1
} else if (x == 0) 0 else -1
```

只有在REPL中才会有这个顾虑。在被编译的程序中，解析器会找到下一行的else。

提示：如果你想在REPL中粘贴成块的代码，而又不想担心REPL的近视问题，可以使用粘贴模式。键入：

```
:paste
```

把代码块粘贴进去，然后按下Ctrl+D。这样REPL就会把代码块当做一个整体来分析。

2.2 语句终止

在Java和C++中，每个语句都以分号结束。而在Scala中——与JavaScript和其他脚本语言类似——行尾的位置不需要分号。同样，在}、else以及类似的位置也不必写分号，只要能够从上下文明确地判断出这里是语句的终止即可。

15

不过，如果你想在单行中写下多个语句，就需要将它们以分号隔开。例如：

```
if (n > 0) { r = r * n; n -= 1 }
```

我们需要用分号将 r = r * n 和 n -= 1 隔开。由于有}，在第二个语句之后并不需要写分号。

如果你在写较长的语句，需要分两行来写的话，就要确保第一行以一个不能用做语句结尾的符号结尾。通常来说一个比较好的选择是操作符：

```
s = s0 + (v - v0) * t + // +告诉解析器这里不是语句的末尾
  0.5 * (a - a0) * t * t
```

在实际编码时，长表达式通常涉及函数或方法调用，如此一来你并不需要过分担心——在左括号（之后，编译器直到看到匹配的）才会去推断某处是否为语句结尾。

正因如此，Scala程序员们更倾向于使用Kernighan & Ritchie风格的花括号：

```
if (n > 0) {
  r = r * n
  n -= 1
}
```

以{结束的行很清楚地表示了后面还有更多内容。

许多来自Java或C++的程序员一开始并不适应省去分号的做法。如果你倾向于使用分号，用就是了——它们没啥坏处。

2.3 块表达式和赋值

在Java或C++中，块语句是一个包含于{ }中的语句序列。每当你需要在逻辑分支或循环中放置多个动作时，你都可以使用块语句。

在Scala中，{ }块包含一系列表达式，其结果也是一个表达式。块中最后一个表达式的值就是块的值。

这个特性对于那种对某个val的初始化需要分多步完成的情况很有用。例如，

```
val distance = { val dx = x - x0; val dy = y - y0; sqrt(dx * dx + dy * dy) }
```

16

{ }块的值取其最后一个表达式，在此处以粗体标出。变量dx和dy仅作为计算所需要的中间值，很干净地对程序其他部分而言不可见了。

在Scala中，赋值动作本身是没有值的——或者，更严格地说，它们的值是Unit类型的。你应该还记得，Unit类型等同于Java和C++中的void，而这个类型只有一个值，写做()。

一个以赋值语句结束的块，比如

```
{ r = r * n; n -= 1}
```

的值是Unit类型的。这没有问题，只是当我们定义函数时需要意识到这一点——参见2.7节。

由于赋值语句的值是Unit类型的，别把它们串接在一起。

```
x = y = 1 // 别这样做
```

y = 1的值是()，你几乎不太可能想把一个Unit类型的值赋值给x。（与此相对应，在Java和C++中，赋值语句的值是被赋的那个值。在这些语言中，将赋值语句串接在一起是有意义的。）

2.4 输入和输出

如果要打印一个值，我们用print或println函数。后者在打印完内容后会追加一个换行符。举例来说，

```
print("Answer: ")
println(42)
```

与下面的代码输出的内容相同：

```
println("Answer: " + 42)
```

另外，还有一个带有C风格格式化字符串的printf函数：

```
printf("Hello, %s! You are %d years old.\n", "Fred", 42)
```

你可以用readLine函数从控制台读取一行输入。如果要读取数字、Boolean或者是字符，可以用readInt、readDouble、readByte、readShort、readLong、readFloat、readBoolean或者readChar。与其他方法不同，readLine带一个参数作为提示字符串：

```
val name = readLine("Your name: ")
print("Your age: ")
val age = readInt()
printf("Hello, %s! Next year, your will be %d.\n", name, age + 1)
```


2.5 循环

Scala拥有与Java和C++相同的while和do循环。例如，

```
while (n > 0) {
  r = r * n
  n -= 1
}
```

Scala没有与 for (*初始化变量;检查变量是否满足某条件;更新变量*)循环直接对应的结构。如果你需要这样的循环，有两个选择：一是使用while循环，二是使用如下for语句：

```
for (i <- 1 to n)
  r = r * i
```

你在第1章曾经看到过RichInt类的这个to方法。1 to n这个调用返回数字1到数字n（含）的Range（区间）。

下面的这个语法结构

```
for (i <- 表达式)
```

让变量i遍历<-右边的表达式的所有值。至于这个遍历具体如何执行，则取决于表达式的类型。对于Scala集合比如Range而言，这个循环会让i依次取得区间中的每个值。

说明：在for循环的变量之前并没有val或var的指定。该变量的类型是集合的元素类型。循环变量的作用域一直持续到循环结束。

遍历字符串或数组时，你通常需要使用从0到n−1的区间。这个时候你可以用until方

法而不是to方法。util方法返回一个并不包含上限的区间。

```
val s = "Hello"
var sum = 0
for (i <- 0 util s.length) // i的最后一个取值是s.length - 1
  sum += s(i)
```

在本例中，事实上我们并不需要使用下标。你可以直接遍历对应的字符序列：

```
var sum = 0
for (ch <- "Hello") sum += ch
```

18

在Scala中，对循环的使用并不如其他语言那么频繁。在第12章中你将会看到，通常我们可以通过对序列中的所有值应用某个函数的方式来处理它们，而完成这项工作只需要一次方法调用即可。

说明： Scala并没有提供break或continue语句来退出循环。那么如果需要break时我们该怎么做呢？有如下几个选项：

1. 使用Boolean型的控制变量。
2. 使用嵌套函数——你可以从函数当中return。
3. 使用Breaks对象中的break方法：

```
import scala.util.control.Breaks._
breakable {
  for (...) {
    if (...) break; // 退出breakable块
    ...
  }
}
```

在这里，控制权的转移是通过抛出和捕获异常完成的，因此，如果时间很重要的话，你应该尽量避免使用这套机制。

2.6 高级for循环和for推导式

在2.5节，你看到了for循环的基本形态。不过，Scala中的for循环比起Java和C++功能要丰富得多，本节将介绍其高级特性。

你可以以 变量<-表达式 的形式提供多个生成器，用分号将它们隔开。例如，

```
for (i <- 1 to 3; j <- 1 to 3) print ((10 * i +j) + " ")
  // 将打印 11 12 13 21 22 23 31 32 33
```

每个生成器都可以带一个守卫，以if开头的Boolean表达式：

```
for (i <- 1 to 3; j <- 1 to 3 if i != j) print ((10 * i + j) + " ")
  // 将打印 12 13 21 23 31 32
```

注意在if之前并没有分号。

你可以使用任意多的定义，引入可以在循环中使用的变量：

```
for (i <- 1 to 3; from = 4 - i; j <- from to 3) print ((10 * i + j) + " ")
  // 将打印 13 22 23 31 32 33
```

19

如果for循环的循环体以yield开始，则该循环会构造出一个集合，每次迭代生成集合中的一个值：

```
for (i <- 1 to 10) yield i % 3
  // 生成 Vector(1, 2, 0, 1, 2, 0, 1, 2, 0, 1)
```

这类循环叫做for推导式。

for推导式生成的集合与它的第一个生成器是类型兼容的。

```
for (c <- "Hello"; i <- 0 to 1) yield (c + i).toChar
  // 将生成 "HIeflmlmop"
for (i <- 0 to 1; c <- "Hello") yield (c + i).toChar
  // 将生成 Vector('H', 'e', 'l', 'l', 'o', 'I', 'f', 'm', 'm', 'p')
```

说明：如果你愿意，你也可以将生成器、守卫和定义包含在花括号当中，并可以以换行的方式而不是分号来隔开它们：

```
for { i <- 1 to 3
  from = 4 - i
  j <- from to 3 }
```

2.7 函数

Scala除了方法外还支持函数。方法对对象进行操作，函数不是。C++也有函数，不过在Java中我们只能用静态方法来模拟。

要定义函数，你需要给出函数的名称、参数和函数体，就像这样：

```
def abs(x: Double) = if (x >= 0) x else -x
```

你必须给出所有参数的类型。不过，只要函数不是递归的，你就不需要指定返回类型。Scala编译器可以通过=符号右侧的表达式的类型推断出返回类型。

如果函数体需要多个表达式完成，可以用代码块。块中最后一个表达式的值就是函数的返回值。举例来说，下面的这个函数返回位于for循环之后的r的值。

```
def fac(n: Int) = {
  var r = 1
  for (i <- 1 to n) r = r * i
  r
}
```

20

在本例中我们并不需要用到return。我们也可以像Java或C++那样使用return，来立即从某个函数中退出，不过在Scala中这种做法并不常见。

提示：虽然在带名函数中使用return并没有什么不对（除了浪费7次按键动作外），我们最好适应没有return的日子。很快，你就会使用大量*匿名函数*，这些函数中return并不返回值给调用者。它跳出到包含它的带名函数中。我们可以把return当做是函数版的break语句，仅在需要时使用。

对于递归函数，我们必须指定返回类型。例如：

```
def fac(n: Int): Int = if (n <= 0) 1 else n * fac(n - 1)
```

如果没有返回类型，Scala编译器无法校验n * fac(n − 1)的类型是Int。

说明：某些编程语言（如ML和Haskell）能够推断出递归函数的类型，用的是Hindley-Milner算法。不过，在面向对象的语言中这样做并不总是行得通。如何扩展Hindley-Milner算法让它能够处理子类型仍然是个科研命题。

2.8 默认参数和带名参数 L1

我们在调用某些函数时并不显式地给出所有参数值，对于这些函数我们可以使用默认参数。例如，

```
def decorate(str: String, left: String = "[", right: String = "]") =
  left + str + right
```

这个函数有两个参数，left和right，带有默认值"["和"]"。

如果你调用decorate("Hello")，你会得到"[Hello]"。如果你不喜欢默认的值，可以给出你自己的版本：decorate("Hello", "<<<", ">>>")。

如果相对参数的数量，你给出的值不够，默认参数会从后往前逐个应用进来。举例来说，decorate("Hello", ">>>[")会使用right参数的默认值，得到">>>[Hello]"。

你也可以在提供参数值的时候指定参数名。例如，

21

```
decorate(left = "<<<", str = "Hello", right = ">>>")
```

结果是"<<<Hello>>>"。注意带名参数并不需要跟参数列表的顺序完全一致。

带名参数可以让函数更加可读。它们对于那些有很多默认参数的函数来说也很有用。

你可以混用未命名参数和带名参数，只要那些未命名的参数是排在前面的即可：

```
decorate("Hello", right = "]<<<") // 将调用 decorate("Hello", "[", "]<<<")
```

2.9 变长参数 L1

有时候，实现一个可以接受可变长度参数列表的函数会更方便。以下示例显示了它的语法：

```
def sum(args: Int*) = {
  var result = 0
  for (arg <- args) result += arg
  result
}
```

你可以使用任意多的参数来调用该函数。

```
val s = sum(1, 4, 9, 16, 25)
```

函数得到的是一个类型为Seq的参数，关于Seq我们会在第13章讲到。现阶段你只需要知道你可以使用for循环来访问每一个元素即可。

如果你已经有一个值的序列，则不能直接将它传入上述函数。举例来说，如下的写法是不对的：

```
val s = sum(1 to 5) // 错误
```

如果sum函数被调用时传入的是单个参数，那么该参数必须是单个整数，而不是一个整数区间。解决这个问题的办法是告诉编译器你希望这个参数被当做参数序列处理。追加: _*，就像这样：

```
val s = sum(1 to 5: _*) // 将1 to 5当做参数序列处理
```

在递归定义当中我们会用到上述语法：

```
def recursiveSum(args: Int*): Int = {
  if (args.length == 0) 0
  else args.head + recursiveSum(args.tail: _*)
}
```

在这里，序列的head是它的首个元素，而tail是所有其他元素的序列，这又是一个Seq，我们用: _*来将它转换成参数序列。

22

注意：当你调用变长参数且参数类型为Object的Java方法，如PrintStream.printf或MessageFormat.format时，你需要手工对基本类型进行转换。例如，

```
val str = MessageFormat.format("The answer to {0} is {1}",
  "everything", 42.asInstanceOf[AnyRef])
```

对于任何Object类型的参数都是这样，我之所以在这里指出，是因为类似的参数在变长参数方法中使用得最多。

2.10 过程

Scala对于不返回值的函数有特殊的表示法。如果函数体包含在花括号当中但没有前面的=号，那么返回类型就是Unit。这样的函数被称做过程（procedure）。过程不返

回值，我们调用它仅仅是为了它的副作用。举例来说，如下过程把一个字符串打印在一个框中，就像这样：

```
-------
|Hello|
-------
```

由于过程不返回任何值，所以我们可以略去=号。

```
def box(s: String) { // 仔细看：没有=号
  var border = "-" * s.length + "--\n"
  println(border + "|" + s + "|\n" + border)
}
```

有人（不是我）不喜欢用这种简明的写法来定义过程，并建议大家总是显式声明Unit返回类型：

```
def box(s: String): Unit = {
  ...
}
```

注意：简明版本的过程定义语法对于Java和C++程序员来说可能带来意想不到的后果，比如不小心在函数定义中略去了=号，于是你在函数被调用的地方得到一个错误提示，Unit在那里不被接受。

2.11 懒值 L1

23

当val被声明为lazy时，它的初始化将被推迟，直到我们首次对它取值。例如，

```
lazy val words = scala.io.Source.fromFile("/usr/share/dict/words").mkString
```

（我们将在第9章介绍文件操作。现阶段我们只需要想当然地认为这个调用将从一个文件读取所有字符并拼接成一个字符串。）

如果程序从不访问words，那么文件也不会被打开。为了验证这个行为，我们可以在REPL中试验，但故意拼错文件名。在初始化语句被执行的时候并不会报错。不过，一旦你访问words，就将会得到一个错误提示：文件未找到。

懒值对于开销较大的初始化语句而言十分有用。它们还可以应对其他初始化问题，比如循环依赖。更重要的是，它们是开发懒数据结构的基础——参见13.13节。

你可以把懒值当做是介于val和def的中间状态。对比如下定义：

```
val words = scala.io.Source.fromFile("/usr/share/dict/words").mkString
  // 在words被定义时即被取值
lazy val words = scala.io.Source.fromFile("/usr/share/dict/words").mkString
  // 在words被首次使用时取值
def words = scala.io.Source.fromFile("/usr/share/dict/words").mkString
  // 在每一次words被使用时取值
```

说明：懒值并不是没有额外开销。我们每次访问懒值，都会有一个方法被调用，而这个方法将会以线程安全的方式检查该值是否已被初始化。

2.12 异常

Scala异常的工作机制和Java或C++一样。当你抛出异常时，比如：

```
throw new IllegalArgumentException("x should not be negative")
```

当前的运算被中止，运行时系统查找可以接受IllegalArgumentException的异常处理器。控制权将在离抛出点最近的处理器中恢复。如果没有找到符合要求的异常处理器，则程序退出。

和Java一样，抛出的对象必须是java.lang.Throwable的子类。不过，与Java不同的是，Scala没有“受检”异常——你不需要声明说函数或方法可能会抛出某种异常。

24

说明：在Java中，“受检”异常在编译期被检查。如果你的方法可能会抛出IOException，你必须做出声明。这就要求程序员必须去想那些异常应该在哪里被处理掉，这是个值得称道的目标。不幸的是，它同时也催生出怪兽般的方法签名，比如 void doSometing() throws IOException, InterruptedException, ClassNotFoundException。许多Java程序员很反感这个特性，最终过早捕获这些异常，或者使用超通用的异常类。Scala的设计者们决定不支持“受检”异常，因为他们意识到彻底的编译期检查并不总是好的。

throw表达式有特殊的类型Nothing。这在if/else表达式中很有用。如果一个分支的类型是Nothing，那么if/else表达式的类型就是另一个分支的类型。举例来说，考虑如下代码

```
if (x >= 0) { sqrt(x)
```

```
} else throw new IllegalArgumentException("x should not be negative")
```

第一个分支类型是Double，第二个分支类型是Nothing。因此，if/else表达式的类型是Double。

捕获异常的语法采用的是模式匹配的语法（参见第14章）。

```
try {
  process(new URL("http://horstmann.com/fred-tiny.gif"))
} catch {
  case _: MalformedURLException => println("Bad URL: " + url)
  case ex: IOException => ex.printStacKTrace()
}
```

和Java或C++一样，更通用的异常应该排在更具体的异常之后。

注意，如果你不需要使用捕获的异常对象，可以使用_来替代变量名。

try/finally语句让你可以释放资源，不论有没有异常发生。例如：

```
var in = new URL("http://horstmann.com/fred.gif").openStream()
try {
  process(in)
} finally {
  in.close()
}
```


finally语句不论process函数是否抛出异常都会执行，reader总会被关闭。

这段代码有些微妙，也提出了一些问题。

- 如果URL构造器或openStream方法抛出异常怎么办？这样一来try代码块和finally语句都不会被执行。这没什么不好——in从未被初始化，因此调用close方法没有意义。
- 为什么val in = new URL(...).openStream()不放在try代码块里？因为这样做的话in的作用域不会延展到finally语句当中。
- 如果in.close()抛出异常怎么办？这样一来异常跳出当前语句，废弃并替代掉所有先前抛出的异常。（这跟Java一模一样，并不是很完美。理想情况是老的异常应该与新的异常一起保留。）

注意，try/catch和try/finally的目的是互补的。try/catch语句处理异常，而try/finally语句在异常没有被处理时执行某种动作（通常是清理工作）。我们可以把它们结合在

一起成为单个try/catch/finally语句：

```
try { ... } catch { ... } finally { ... }
```

这和下面的语句一样：

```
try { try { ... } catch { ... } } finally { ... }
```

不过，这样组合在一起的写法几乎没什么用。

练习

1. 一个数字如果为正数，则它的signum为1；如果是负数，则signum为−1；如果是0，则signum为0。编写一个函数来计算这个值。
2. 一个空的块表达式{}的值是什么？类型是什么？
3. 指出在Scala中何种情况下赋值语句 x = y = 1是合法的。（提示：给x找个合适的类型定义。）
4. 针对下列Java循环编写一个Scala版：

```
for (int i = 10; i >= 0; i--) System.out.println(i);
```

5. 编写一个过程countdown(n: Int)，打印从n到0的数字。
6. 编写一个for循环，计算字符串中所有字母的Unicode代码的乘积。举例来说，"Hello"中所有字符的乘积为9415087488L。
7. 同样是解决前一个练习的问题，但这次不使用循环。（提示：在Scaladoc中查看StringOps）
8. 编写一个函数product(s: String)，计算前面练习中提到的乘积。 26
9. 把前一个练习中的函数改成递归函数。
10. 编写函数计算x^n，其中n是整数，使用如下的递归定义：
    - $x^n = y^2$，如果n是正偶数的话，这里的$y = x^{n/2}$。
    - $x^n = x \cdot x^{n-1}$，如果n是正奇数的话。
    - $x^0 = 1$。
    - $x^n = 1 / x^{-n}$，如果n是负数的话。

    不得使用return语句。 27

第3章　数组相关操作

本章的主题 A1

- 3.1　定长数组——第29页
- 3.2　变长数组：数组缓冲——第30页
- 3.3　遍历数组和数组缓冲——第31页
- 3.4　数组转换——第32页
- 3.5　常用算法——第34页
- 3.6　解读Scaladoc——第35页
- 3.7　多维数组——第37页
- 3.8　与Java的互操作——第37页
- 练习——第38页

Chapter 3

在本章中，你将会学到如何在Scala中操作数组。Java和C++程序员通常会选用数组或近似的结构（比如数组列表或向量）来收集一组元素。在Scala中，我们的选择更多（参见第13章），不过现在我先假定你不关心其他选择，而只是想马上开始用数组。

本章的要点包括：

- 若长度固定则使用Array，若长度可能有变化则使用ArrayBuffer。
- 提供初始值时不要使用new。
- 用()来访问元素。
- 用for (elem <- arr)来遍历元素。
- 用for (elem <- arr if ...)... yield ... 来将原数组转型为新数组。
- Scala数组和Java数组可以互操作；用ArrayBuffer，使用scala.collection.JavaConversions中的转换函数。

3.1 定长数组

如果你需要一个长度不变的数组，可以用Scala中的Array。例如：


```
val nums = new Array[Int](10)
  // 10个整数的数组，所有元素初始化为0
```

```
val a = new Array[String](10)
  // 10个元素的字符串数组，所有元素初始化为null
val s = Array("Hello", "World")
  // 长度为2的Array[String]——类型是推断出来的
  // 说明：已提供初始值就不需要new
s(0) = "Goodbye"
  // Array("Goodbye", "World")
  // 使用()而不是[]来访问元素
```

在JVM中，Scala的Array以Java数组方式实现。示例中的数组在JVM中的类型为java.lang.String[]。Int、Double或其他与Java中基本类型对应的数组都是基本类型数组。举例来说，Array(2,3,5,7,11)在JVM中就是一个int[]。

3.2 变长数组：数组缓冲

对于那种长度按需要变化的数组，Java有ArrayList，C++有vector。Scala中的等效数据结构为ArrayBuffer。

```
import scala.collection.mutable.ArrayBuffer
val b = ArrayBuffer[Int]()
  // 或者 new ArrayBuffer[Int]
  // 一个空的数组缓冲，准备存放整数
b += 1
  // ArrayBuffer(1)
  // 用+=在尾端添加元素
b += (1, 2, 3, 5)
  // ArrayBuffer(1, 1, 2, 3, 5)
  // 在尾端添加多个元素，以括号包起来
b ++= Array(8, 13, 21)
  // ArrayBuffer(1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21)
  // 你可以用++=操作符追加任何集合
b.trimEnd(5)
  // ArrayBuffer(1, 1, 2)
  // 移除最后5个元素
```

在数组缓冲的尾端添加或移除元素是一个高效（“amortized constant time”）的操作。

你也可以在任意位置插入或移除元素，但这样的操作并不那么高效——所有在那个位置之后的元素都必须被平移。举例如下：

```
b.insert(2, 6)
  // ArrayBuffer(1, 1, 6, 2)
  // 在下标2之前插入
b.insert(2, 7, 8, 9)
  // ArrayBuffer(1, 1, 7, 8, 9, 6, 2)
  // 你可以插入任意多的元素
b.remove(2)
  // ArrayBuffer(1, 1, 8, 9, 6, 2)
b.remove(2, 3)
  // ArrayBuffer(1, 1, 2)
  // 第2个参数的含义是要移除多少个元素
```

有时你需要构建一个Array，但不知道最终需要装多少元素。在这种情况下，先构建一个数组缓冲，然后调用：

```
b.toArray
  // Array(1, 1, 2)
```

反过来，调用a.toBuffer可以将一个数组a转换成一个数组缓冲。

3.3 遍历数组和数组缓冲

在Java和C++中，数组和数组列表/向量有一些语法上不同。Scala则更加统一。大多数时候，你可以用相同的代码处理这两种数据结构。

以下是for循环遍历数组或数组缓冲的语法：

```
for (i <- 0 until a.length)
  println(i + ": " + a(i))
```

变量i的取值从0到a.length - 1。

until是RichInt类的方法，返回所有小于（但不包括）上限的数字。例如：

```
0 until 10
  // Range(0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)
```

31 注意0 until 10实际上是一个方法调用：0.until(10)。

如下结构

```
for(i <- 区间)
```

会让变量i遍历该区间的所有值。拿本例来说，循环变量i先后取值0、1，等等，直到（但不包含）a.length。

如果想要每两个元素一跳，可以让i这样来进行遍历：

```
0 until (a.length, 2)
  // Range(0, 2, 4, ...)
```

如果要从数组的尾端开始，遍历的写法为：

```
(0 until a.length).reverse
  // Range(..., 2, 1, 0)
```

如果在循环体中不需要用到数组下标，我们也可以直接访问数组元素，就像这样：

```
for (elem <- a)
  println(elem)
```

这和Java中的“增强版”for循环，或者C++中的“基于区间的”for循环很相似。变量elem先后被设为a(0)，然后a(1)，依此类推。

3.4 数组转换

在前面的章节中，你看到了如何像Java或C++那样操作数组。不过在Scala中，你可以走得更远。从一个数组（或数组缓冲）出发，以某种方式对它进行转换是很简单的。这些转换动作不会修改原始数组，而是产生一个全新的数组。

像这样使用for推导式：

```
val a = Array(2, 3, 5, 7, 11)
val result = for (elem <- a) yield 2 * elem
  // result是Array(4, 6, 10, 14, 22)
```

for (...) yield循环创建了一个类型与原始集合相同的新集合。如果你从数组出发，那么你得到的是另一个数组。如果你从数组缓冲出发，那么你在for (...) yield之后得到的也

是一个数组缓冲。

结果包含yield之后的表达式（的值），每次迭代对应一个。

通常，当你遍历一个集合时，你只想处理那些满足特定条件的元素。这个需求可以通过守卫：for中的if来实现。在这里我们对每个偶数元素翻倍，并丢掉奇数元素：

```
for (elem <- a if elem % 2 == 0) yield 2 * elem
```

32

请留意结果是个新的集合——原始集合并没有受到影响。

说明：另一种做法是

```
a.filter(_ % 2 == 0).map(2 * _)
```

甚至

```
a.filter { _ % 2 == 0 } map { 2 * _ }
```

某些有着函数式编程经验的程序员倾向于使用filter和map而不是守卫和yield。这不过是一种风格罢了——for循环所做的事完全相同。你可以根据喜好任意选择。

考虑如下示例。给定一个整数的数组缓冲，我们想要移除除第一个负数之外的所有负数。传统的依次执行的解决方案会在遇到第一个负数时置一个标记，然后移除后续出现的负数元素。

```
var first = true
var n = a.length
var i = 0
while (i < n) {
  if (a(i) >= 0) i += 1
  else {
    if (first) { first = false; i += 1 }
    else { a.remove(i); n -= 1 }
  }
}
```

不过等一下——这个方案其实并不那么好：从数组缓冲中移除元素并不高效，把非负数值拷贝到前端要好得多。

首先收集需要保留的下标：

```
var first = true
val indexes = for (i <- 0 until a.length if first || a(i) >= 0) yield {
  if (a(i) < 0) first = false; i
}
```

然后将元素移动到该去的位置，并截断尾端：

```
for (j <- 0 until indexes.length) a(j) = a(indexes(j))
a.trimEnd(a.length - indexes.length)
```

33 这里的关键点是，拿到所有下标好过逐个处理。

3.5 常用算法

我们常听到一种说法，很大比例的业务运算不过是在求和与排序。还好Scala有内建的函数来处理这些任务。

```
Array(1, 7, 2, 9).sum
  // 19
  // 对ArrayBuffer同样适用
```

要使用sum方法，元素类型必须是数值类型：要么是整型，要么是浮点数或者BigInteger/BigDecimal。

同理，min和max输出数组或数组缓冲中最小和最大的元素。

```
ArraryBuffer("Mary", "had", "a", "little", "lamb").max
  // "little"
```

sorted方法将数组或数组缓冲排序并返回经过排序的数组或数组缓冲，这个过程并不会修改原始版本：

```
val b = ArrayBuffer(1, 7, 2, 9)
val bSorted = b.sorted(_ < _) // b没有被改变；bSorted是ArrayBuffer(1, 2, 7, 9)
```

你还可以提供一个比较函数，不过你需要用sortWith方法：

```
val bDescending = b.sorted(_ > _) // ArrayBuffer(9, 7, 2, 1)
```

有关函数的语法参见第12章。

你可以直接对一个数组排序，但不能对数组缓冲排序：

```
val a = Array(1, 7, 2, 9)
scala.util.Sorting.quickSort(a)
  // a现在是Array(1, 2, 7, 9)
```

对于min、max和quickSort方法，元素类型必须支持比较操作，这包括了数字、字符串以及其他带有Ordered特质的类型。

最后，如果你想要显示数组或数组缓冲的内容，可以用mkString方法，它允许你指定元素之间的分隔符。该方法的另一个重载版本可以让你指定前缀和后缀。例如：

```
a.mkString(" and ")
  // "1 and 2 and 7 and 9"
a.mkString("<", ",", ">")
  // "<1,2,7,9>"
```

34

和toString相比：

```
a.toString
  // "[I@b73e5"
  // 这里被调用的是来自Java的毫无意义的toString方法
b.toString
  // "ArrayBuffer(1, 7, 2, 9)"
  // toString方法报告了类型，便于调试
```

3.6 解读Scaladoc

数组和数组缓冲有许多有用的方法，我们可以通过浏览Scala文档来获取这些信息。

说明：对Array类的操作方法列在ArrayOps相关条目下。从技术上讲，在数组上应用这些操作之前，数组都会被转换成ArrayOps对象。

由于Scala的类型系统比Java更丰富，在浏览Scala的文档时，你可能会遇到一些看上去很奇怪的语法。所幸，你并不需要理解类型系统的所有细节就可以完成很多有用的工作。你可以把表3-1用做“解码指环”。

表3-1 Scaladoc解码指环

Scaladoc	解读
def append(elems: **A***): Unit	这个方法接受零或多个类型为A的参数。举例来说，b.append(1, 7, 2, 9)将对b追加四个元素
def appendAll(xs: **TraversableOnce[A]**): Unit	xs参数可以是任何带有TraversableOnce特质的集合，该特质是Scala集合层级中最通用的一个。其他你还可能在Scaladoc中遇到的通用特质有Traversable和Iterable。所有的Scala集合都实现这些特质，至于它们之间有什么区别，对于类库的使用者而言属于科研话题，你只需要把它们当做是在说“任意集合”即可。 不过，Seq特质需要元素能够通过整数下标访问。对应“数组、列表或字符串”
def count(**p: (A) => Boolean**): Int	这个方法接受一个前提作为参数，这是一个从A到Boolean的函数。count函数用于清点有多少元素在应用该函数后得到true。举例来说，a.count(_ > 0)的意思是清点有多少a的元素是正值
def += (elem: A): **ArrayBuffer.this.type**	该方法返回this，让我们可以把调用串接起来，例如：b += 4 -= 5。 在操作ArrayBuffer[A]时，我们可以简单地把这个方法当做： `def += (elem: A): ArrayBuffer[A]` 如果有人构造出一个ArrayBuffer的子类，那么+=的返回值就是那个子类
def copyToArray[**B >: A**] (xs: **Array[B]**): Unit	注意这个函数将一个ArrayBuffer[A]拷贝成一个Array[B]。这里的B仅允许为A的超类。举例来说，你可以把一个ArrayBuffer[Int]拷贝成一个Array[Any]。初看时，可以忽略[B >: A]，并把B替换成A
def max[B >: A] (**implicit cmp: Ordering[B]**): A	A必须有一个超类B，并且存在一个类型为Ordering[B]的“隐式”对象。这样的顺序信息适用于数字、字符串以及其他带有Ordered特质的类型，同时也适用于那些实现了Java Comparable接口的类

（续表）

Scaladoc	解读
def padTo[B >: A, **That**](len: Int, elem: B) **(implicit bf: CanBuildFrom [ArrayBuffer[A], B, That]): That**	这个声明涉及使用该方法创建新集合的过程的细节。你可以先跳过这个方法，找到更简单的版本，拿本例来说就是： `def padTo(len: Int, elem: A): ArrayBuffer[A]` 未来的Scaladoc会把这些声明隐藏起来

36

3.7 多维数组

和Java一样，多维数组是通过数组的数组来实现的。举例来说，Double的二维数组类型为Array[Array[Double]]。要构造这样一个数组，可以用ofDim方法：

```
val matrix = Array.ofDim[Double](3, 4) // 三行，四列
```

要访问其中的元素，使用两对圆括号：

```
matrix(row)(column) = 42
```

你可以创建不规则的数组，每一行的长度各不相同：

```
val triangle = new Array[Array[Int]](10)
for (i <- 0 until triangle.length)
  triangle(i) = new Array[Int](i + 1)
```

3.8 与Java的互操作

由于Scala数组是用Java数组实现的，你可以在Java和Scala之间来回传递。

如果你调用接受或返回java.util.List的Java方法，则当然可以在Scala代码中使用Java的ArrayList——但那样做没什么意思。你完全可以引入scala.collection.JavaConversions里的隐式转换方法。这样你就可以在代码中使用Scala缓冲，在调用Java方法时，这些对象会被自动包装成Java列表。

举例来说，java.lang.ProcessBuilder类有一个以List<String>为参数的构造器。以下是在Scala中调用它的写法：

```
import scala.collection.JavaConversions.bufferAsJavaList
```

```
import scala.collection.mutable.ArrayBuffer
val command = ArrayBuffer("ls", "-al", "/home/cay")
val pb = new ProcessBuilder(command) // Scala到Java的转换
```

Scala缓冲被包装成了一个实现了java.util.List接口的Java类的对象。

反过来讲，当Java方法返回java.util.List时，我们可以让它自动转换成一个Buffer：

```
import scala.collection.JavaConversions.asScalaBuffer
import scala.collection.mutable.Buffer
val cmd: Buffer[String] = pb.command() // Java到Scala的转换
  // 不能使用ArrayBuffer——包装起来的对象仅能保证是个Buffer
```

如果Java方法返回一个包装过的Scala缓冲，那么隐式转换会将原始的对象解包出来。拿本例来说，cmd == command。

37

练习

1. 编写一段代码，将a设置为一个*n*个随机整数的数组，要求随机数介于0（包含）和*n*（不包含）之间。
2. 编写一个循环，将整数数组中相邻的元素置换。例如，Array(1, 2, 3, 4, 5)经过置换后变为Array(2, 1, 4, 3, 5)。
3. 重复前一个练习，不过这一次生成一个新的值交换过的数组。用for/yield。
4. 给定一个整数数组，产出一个新的数组，包含元数组中的所有正值，以原有顺序排列，之后的元素是所有零或负值，以原有顺序排列。
5. 如何计算Array[Double]的平均值？
6. 如何重新组织Array[Int]的元素将它们以反序排列？对于ArrayBuffer[Int]你又会怎么做呢？
7. 编写一段代码，产出数组中的所有值，去掉重复项。（提示：查看Scaladoc）
8. 重新编写3.4节结尾的示例。收集负值元素的下标，反序，去掉最后一个下标，然后对每一个下标调用a.remove(i)。比较这样做的效率和3.4节中另外两种方法的效率。
9. 创建一个由java.util.TimeZone.getAvailableIDs返回的时区集合，判断条件是它们在美洲。去掉"America/"前缀并排序。

10. 引入java.awt.datatransfer._并构建一个类型为SystemFlavorMap类型的对象：

```
val flavors = SystemFlavorMap.getDefaultFlavorMap().asInstanceOf[SystemFlavorMap]
```

然后以DataFlavor.imageFlavor为参数调用getNativesForFlavor方法，以Scala缓冲保存返回值。（为什么用这样一个晦涩难懂的类？因为在Java标准类库中很难找得到使用java.util.List的代码。）

38

第4章　映射和元组

本章的主题 A1

- 4.1　构造映射——第41页
- 4.2　获取映射中的值——第42页
- 4.3　更新映射中的值——第43页
- 4.4　迭代映射——第44页
- 4.5　已排序映射——第44页
- 4.6　与Java的互操作——第45页
- 4.7　元组——第45页
- 4.8　拉链操作——第46页
- 练习——第47页

Chapter 4

一个经典的程序员名言是："如果只能有一种数据结构，那就用哈希表吧。"哈希表——或者更笼统地说，映射——是最灵活多变的数据结构之一。在本章中你将会看到，在Scala中使用映射非常简单。

映射是键/值对偶的集合。Scala有一个通用的叫法——元组——*n*个对象的聚集，并不一定要相同类型的。对偶不过是一个*n*=2的元组。元组对于那种需要将两个或更多值聚集在一起时特别有用，我们在本章末尾将简单介绍元组的语法。

本章的要点包括：

- Scala有十分易用的语法来创建、查询和遍历映射。
- 你需要从可变的和不可变的映射中做出选择。
- 默认情况下，你得到的是一个哈希映射，不过你也可以指明要树形映射。
- 你可以很容易地在Scala映射和Java映射之间来回切换。
- 元组可以用来聚集值。

4.1 构造映射

我们可以这样来构造一个映射：

41

```
val scores = Map("Alice" -> 10, "Bob" -> 3, "Cindy" -> 8)
```

上述代码构造出一个不可变的Map[String, Int]，其值不能被改变。如果你想要一个可变映射，则用

```
val scores = scala.collection.mutable.Map("Alice" -> 10, "Bob" -> 3, "Cindy" -> 8)
```

如果想从一个空的映射开始，你需要选定一个映射实现并给出类型参数：

```
val scores = new scala.collection.mutable.HashMap[String, Int]
```

在Scala中，映射是对偶的集合。对偶简单地说就是两个值构成的组，这两个值并不一定是同一个类型的，比如("Alice", 10)。

->操作符用来创建对偶。

```
"Alice" -> 10
```

上述代码产出的值是：

```
("Alice", 10)
```

你完全也可以用下面这种方式来定义映射：

```
val scores = Map(("Alice", 10), ("Bob", 3), ("Cindy", 8))
```

只不过->操作符看上去比圆括号更易读那么一点，也更加符合大家对映射的直观感觉：映射这种数据结构是一种将键映射到值的函数。区别在于通常的函数计算值，而映射只是做查询。

4.2 获取映射中的值

在Scala中，函数和映射之间的相似性尤为明显，因为你将使用()表示法来查找某个键对应的值。

```
val bobsScore = scores("Bob") // 类似于Java中的scores.get("Bob")
```

如果映射并不包含请求中使用的键，则会抛出异常。

要检查映射中是否有某个指定的键，可以用contains方法：

```
val bobsScore = if (scores.contains("Bob")) scores("Bob") else 0
```

由于这样的组合调用十分普遍，以下是一个快捷写法：

```
val bobsScore = scores.getOrElse("Bob", 0)
  // 如果映射包含键"Bob"，返回对应的值；否则，返回0。
```

最后，映射.get(键)这样的调用返回一个Option对象，要么是Some（键对应的值），要么是None。我们将在第14章详细介绍Option类。

42

4.3 更新映射中的值

在可变映射中，你可以更新某个映射的值，或者添加一个新的映射关系，做法是在=号的左侧使用()：

```
scores("Bob") = 10
  // 更新键"Bob"对应的值（假定scores是可变的）
scores("Fred") = 7
  // 增加新的键/值对偶到scores（假定它是可变的）
```

或者，你也可以用+=操作来添加多个关系：

```
scores += ("Bob" -> 10, "Fred" -> 7)
```

要移除某个键和对应的值，使用-=操作符：

```
scores -= "Alice"
```

你不能更新一个不可变的映射，但你可以做一些同样有用的操作——获取一个包含所需要的更新的新映射：

```
val newScores = scores + ("Bob" -> 10, "Fred" -> 7) // 更新过的新映射
```

newScores映射包含了与scores相同的映射关系，此外"Bob"被更新，"Fred"被添加了进来。

除了把结果作为新值保存外，你也可以更新var变量：

```
var scores = ...
scores = scores + ("Bob" -> 10, "Fred" -> 7)
```

同理，要从不可变映射中移除某个键，你可以用-操作符来获取一个新的去掉该键

的映射：

```
scores = scores - "Alice"
```

你可能会觉得这样不停地创建新映射效率很低，不过事实并非如此。老的和新的映射共享大部分结构。（这样做之所以可行，是因为它们是不可变的。）

4.4 迭代映射

如下这段超简单的循环即可遍历映射中所有的键/值对偶：

```
for ((k, v) <- 映射) 处理k和v
```

这里的“魔法”是你可以在Scala的for循环中使用模式匹配（第14章会讲到模式匹配的所有细节）。这样一来，不需要冗杂的方法调用，你就可以得到每一个对偶的键和值。

43

如果出于某种原因，你只需要访问键或值，像Java一样，则可以用keySet和values方法。values方法返回一个Iterable，你可以在for循环当中使用这个Iterable。

```
scores.keySet // 一个类似Set("Bob", "Cindy", "Fred", "Alice")这样的集
for (v <- scores.values) println(v) // 将打印10 8 7 10或其他排列组合
```

要反转一个映射——即交换键和值的位置——可以用：

```
for ((k, v) <- 映射) yield (v, k)
```

4.5 已排序映射

在操作映射时，你需要选定一个实现——一个哈希表或者一个平衡树。默认情况下，Scala给的是哈希表。由于对使用的键没有很好的哈希函数，或者需要顺序地访问所有的键，因此，你可能会想要一个树形映射。

要得到一个不可变的树形映射而不是哈希映射的话，可以用：

```
val scores = scala.collections.immutable.SortedMap("Alice" -> 10,
  "Fred" -> 7, "Bob" -> 3, "Cindy" -> 8)
```

很可惜，Scala（2.9）并没有可变的树形映射。如果那是你要的，最接近的选择是

使用Java的TreeMap，我们在第13章会有介绍。

提示：如果要按插入顺序访问所有键，使用LinkedHashMap，例如：

```
val months = scala.collection.mutable.LinkedHashMap("January" -> 1,
 "February" -> 2, "March" -> 3, "April" -> 4, "May" -> 5, ...)
```

4.6 与Java的互操作

如果你通过Java方法调用得到了一个Java映射，你可能想要把它转换成一个Scala映射，以便使用更便捷的Scala映射API。这对于需要操作Scala并未提供的可变树形映射的情况也很有用。

只需要增加如下引入语句：

```
import scala.collection.JavaConversions.mapAsScalaMap
```

然后通过指定Scala映射类型来触发转换：

```
val scores: scala.collection.mutable.Map[String, Int] =
  new java.util.TreeMap[String, Int]
```

除此之外，你还可以得到从java.util.Properties到Map[String, String]的转换：

44

```
import scala.collection.JavaConversions.propertiesAsScalaMap
val props: scala.collection.Map[String, String] = System.getProperties()
```

反过来讲，要把Scala映射传递给预期Java映射的方法，提供相反的隐式转换即可。例如：

```
import scala.collection.JavaConversions.mapAsJavaMap
import java.awt.font.TextAttribute._ // 引入下面的映射会用到的键
val attrs = Map(FAMILY -> "Serif", SIZE -> 12) // Scala映射
val font = new java.awt.Font(attrs) // 该方法预期一个Java映射
```

4.7 元组

映射是键/值对偶的集合。对偶是元组（tuple）的最简单形态——元组是不同类型

的值的聚集。

元组的值是通过将单个的值包含在圆括号中构成的。例如：

```
(1, 3.14, "Fred")
```

是一个元组，类型为：

```
Tuple3[Int, Double, java.lang.String]
```

类型定义也可以写为：

```
(Int, Double, java.lang.String)
```

如果你有一个元组，比如：

```
val t = (1, 3.14, "Fred")
```

你就可以用方法_1、_2、_3访问其组元，比如：

```
val second = t._2 // 将second设为3.14
```

和数组或字符串中的位置不同，元组的各组元从1开始，而不是0。

说明：你可以把t._2写为t _2（用空格而不是句点），但不能写成t_2。

通常，使用模式匹配来获取元组的组元，例如：

```
val (first, second, third) = t // 将first设为1，second设为3.14，third设为"Fred"
```

如果并不是所有的部件都需要，那么可以在不需要的部件位置上使用_：

45

```
val (first, second, _) = t
```

元组可以用于函数需要返回不止一个值的情况。举例来说，StringOps的partition方法返回的是一对字符串，分别包含了满足某个条件和不满足该条件的字符：

```
"New York".partition(_.isUpper) // 输出对偶("NY", "ew ork")
```

4.8 拉链操作

使用元组的原因之一是把多个值绑在一起，以便它们能够被一起处理，这通常可以用zip方法来完成。举例来说，下面的代码：

```
val symbols = Array("<", "-", ">")
val counts = Array(2, 10, 2)
val pairs = symbols.zip(counts)
```

输出对偶的数组：

```
Array(("<", 2), ("-", 10), (">", 2))
```

然后这些对偶就可以被一起处理：

```
for ((s, n) <- pairs) Console.print(s * n) // 会打印 <<---------->>
```

提示：用toMap方法可以将对偶的集合转换成映射。

如果你有一个键的集合，以及一个与之平行对应的值的集合，那么你就可以用拉链操作将它们组合成一个映射：

```
keys.zip(values).toMap
```

练习

1. 设置一个映射，其中包含你想要的一些装备，以及它们的价格。然后构建另一个映射，采用同一组键，但在价格上打9折。
2. 编写一段程序，从文件中读取单词。用一个可变映射来清点每一个单词出现的频率。读取这些单词的操作可以使用java.util.Scanner：

   ```
   val in = new java.util.Scanner(new java.io.File("myfile.txt"))
   while (in.hasNext()) 处理 in.next()
   ```

   或者翻到第9章看看更Scala的做法。

   最后，打印出所有单词和它们出现的次数。
3. 重复前一个练习，这次用不可变的映射。
4. 重复前一个练习，这次用已排序的映射，以便单词可以按顺序打印出来。
5. 重复前一个练习，这次用java.util.TreeMap并使之适用于Scala API。
6. 定义一个链式哈希映射，将"Monday"映射到java.util.Calendar.MONDAY，依此类推加入其他日期。展示元素是以插入的顺序被访问的。

7. 打印出所有Java系统属性的表格，类似这样：

```
java.rutime.name                | Java(TM) SE Runtime Environment
sun.boot.library.path           | /home/apps/jdk1.6.0_21/jre/lib/i386
java.vm.version                 | 17.0-b16
java.vm.vendor                  | Sun Microsystems Inc.
java.vendor.url                 | http://java.sun.com/
path.separator                  | :
java.vm.name                    | Java HotSpot(TM) Server VM
```

你需要找到最长键的长度才能正确地打印出这张表格。

8. 编写一个函数minmax(values: Array[Int])，返回数组中最小值和最大值的对偶。
9. 编写一个函数lteqgt(values: Array[Int], v: Int)，返回数组中小于v、等于v和大于v的数量，要求三个值一起返回。
10. 当你将两个字符串拉链在一起，比如"Hello".zip("World")，会是什么结果？想出一个讲得通的用例。

第5章　类

本章的主题 A1

- 5.1　简单类和无参方法——第51页
- 5.2　带getter和setter的属性——第52页
- 5.3　只带getter的属性——第55页
- 5.4　对象私有字段——第56页
- 5.5　Bean属性 L1——第57页
- 5.6　辅助构造器——第59页
- 5.7　主构造器——第60页
- 5.8　嵌套类 L1——第63页
- 练习——第65页

Chapter 5

在本章中，你将会学习如何用Scala实现类。如果你了解Java或C++中的类，你不会觉得这有多难，并且你会很享受Scala更加精简的表示法带来的便利。

本章的要点包括：

- 类中的字段自动带有getter方法和setter方法。
- 你可以用定制的getter/setter方法替换掉字段的定义，而不必修改使用类的客户端——这就是所谓的“统一访问原则”。
- 用@BeanProperty注解来生成JavaBeans的getXxx/setXxx方法。
- 每个类都有一个主要的构造器，这个构造器和类定义“交织”在一起。它的参数直接成为类的字段。主构造器执行类体中所有的语句。
- 辅助构造器是可选的。它们叫做this。

5.1 简单类和无参方法

Scala类最简单的形式看上去和Java或C++中的很相似：


```
class Counter {
  private var value = 0 // 你必须初始化字段
  def increment() { value += 1 } // 方法默认是公有的
```

```
  def current() = value
}
```

在Scala中，类并不声明为public。Scala源文件可以包含多个类，所有这些类都具有公有可见性。

使用该类需要做的就是构造对象并按照通常的方式来调用方法：

```
val myCounter = new Counter // 或new Counter()
myCounter.increment()
println(myCounter.current)
```

调用无参方法（比如current）时，你可以写上圆括号，也可以不写：

```
myCounter.current // OK
myCounter.current() // 同样OK
```

应该用哪一种形式呢？我们认为对于改值器方法（即改变对象状态的方法）使用()，而对于取值器方法（不会改变对象状态的方法）去掉()是不错的风格。

这也是我们在示例中的做法：

```
myCounter.increment() // 对改值器使用()
println(myCounter.current) // 对取值器不使用()
```

你可以通过以不带()的方式声明current来强制这种风格：

```
class Counter {
  ...
  def current = value // 定义中不带()
}
```

这样一来类的使用者就必须用myCounter.current，不带圆括号。

5.2 带getter和setter的属性

编写Java类时，我们并不喜欢使用公有字段：

```
public class Person { // 这是Java
  public int age; // Java中不鼓励这样做
}
```

使用公有字段的话，任何人都可以写入fred.age，让Fred更年轻或更老。这就是为什么我们更倾向于使用getter和setter方法：

```
public class Person { // 这是Java
  private int age;
  public int getAge() { return age; }
  public void setAge(int age) { this.age = age; }
}
```

像这样的一对getter/setter通常被称做属性（property）。我们会说Person类有一个age属性。

这到底好在哪里呢？仅从它自身来说，并不比公有字段来得更好。任何人都可以调用fred.setAge(21)，让他永远停留在21岁。

不过如果这是个问题，我们可以防止它发生：

```
public void setAge(int newValue) { if (newValue > age) age = newValue; }
  // 不能变年轻
```

之所以说getter和setter方法比公有字段更好，是因为它们让你可以从简单的get/set机制出发，并在需要的时候做改进。

说明：仅仅因为getter和setter方法比公有字段更好并不意味着它们总是好的。通常，如果每个客户端都可以对一个对象的状态数据进行获取和设置，这明显是很糟糕的。在本节中，我会向你展示如何用Scala实现属性。但要靠你自己决定可以取值和改值的字段是否是合理的设计。

Scala对每个字端都提供getter和setter方法。在这里，我们定义一个公有字段：

```
class Person {
  var age = 0
}
```

Scala生成面向JVM的类，其中有一个私有的age字段以及相应的getter和setter方法。这两个方法是公有的，因为我们没有将age声明为private。（对私有字段而言，getter和setter方法也是私有的。）

在Scala中，getter和setter分别叫做 age 和 age_=。例如：

```
println(fred.age) // 将调用方法fred.age()
fred.age = 21 // 将调用fred.age=(21)
```

51

说明：如果想亲眼看到这些方法，可以编译Person类，然后用javap查看字节码：

```
$ scalac Person.scala
$ javap -private Person
Compiled from "Person.scala"
public class Person extends java.lang.Object implements scala.ScalaObject{
  private int age;
  public int age();
  public void age_$eq(int);
  public Person();
}
```

正如你看到的那样，编译器创建了age和age_$eq方法。（=号被翻译成$eq，是因为JVM不允许在方法名中出现=。）

说明：在Scala中，getter和setter方法并非被命名为getXxx和setXxx，不过它们的用意是相同的。5.5节将会介绍如何生成Java风格的getXxx和setXxx方法，以使得你的Scala类可以与Java工具实现互操作。

在任何时候你都可以自己重新定义getter和setter方法。例如：

```
class Person {
  private var privateAge = 0 // 变成私有并改名

  def age = privateAge
  def age_=(newValue: Int) {
    if (newValue > privateAge) privateAge = newValue; // 不能变年轻
  }
}
```

你的类的使用者仍然可以访问fred.age，但现在Fred不能变年轻了：

```
val fred = new Person
```

```
fred.age = 30
fred.age = 21
println(fred.age) // 30
```

52

说明：颇具影响的Eiffel语言的发明者Bertrand Meyer提出了*统一访问原则*，内容如下："某个模块提供的所有服务都应该能通过统一的表示法访问到，至于它们是通过存储还是通过计算来实现的，从访问方式上应无从获知。"在Scala中，fred.age的调用者并不知道age是通过字段还是通过方法来实现的。（当然了，在JVM中，该服务*总是*通过方法来实现的，要么是编译器合成，要么由程序员提供。）

提示：Scala对每个字段生成getter和setter方法听上去有些恐怖。不过你可以控制这个过程。

- 如果字段是私有的，则getter和setter方法也是私有的。
- 如果字段是val，则只有getter方法被生成。
- 如果你不需要任何getter或setter，可以将字段声明为private[this]（参见5.4节）。

5.3 只带getter的属性

有时候你需要一个*只读*属性，有getter但没有setter。如果属性的值在对象构建完成后就不再改变，则可以使用val字段：

```
class Message {
  val timeStamp = new java.util.Date
  ...
}
```

Scala会生成一个私有的final字段和一个getter方法，但没有setter。

不过，有时你需要这样一个属性，客户端不能随意改值，但它可以通过某种其他的方式被改变。5.1节中的Counter类就是个很好的例子。从概念上讲，counter有一个

current属性，当increment方法被调用时更新，但并没有对应的setter。

你不能通过val来实现这样一个属性——val永不改变。你需要提供一个私有字段和一个属性的getter方法，像这样：

```
class Counter {
  private var value = 0
  def increment() { value += 1 }
  def current = value // 声明中没有()
}
```

53

注意，在getter方法的定义中并没有()。因此，你必须以不带圆括号的方式来调用：

```
val n = myCounter.current // myCounter.current()这样的调用方式是语法错误
```

总结一下，在实现属性时你有如下四个选择：

1. var foo: Scala自动合成一个getter和一个setter。
2. val foo: Scala自动合成一个getter。
3. 由你来定义foo和foo_=方法。
4. 由你来定义foo方法。

说明：在Scala中，你不能实现只写属性（即带有setter但不带getter的属性）。

提示：当你在Scala类中看到字段的时候，记住它和Java或C++中的字段不同。它是一个私有字段，加上getter方法（对val字段而言）或者getter和setter方法（对var字段而言）。

5.4 对象私有字段

在Scala中（Java和C++也一样），方法可以访问该类的所有对象的私有字段。例如：

```
class Counter {
  private var value = 0
  def increment() { value += 1 }
```

```
  def isLess(other: Counter) = value < other.value
    // 可以访问另一个对象的私有字段
}
```

之所以访问other.value是合法的，是因为other也同样是Counter对象。

Scala允许我们定义更加严格的访问限制，通过private[this]这个修饰符来实现。

```
private[this] var value = 0 // 类似某个对象.value这样的访问将不被允许
```

这样一来，Counter类的方法只能访问到当前对象的value字段，而不能访问同样是Counter类型的其他对象的该字段。这样的访问有时被称为对象私有的，这在某些OO语言，比如SmallTalk中十分常见。

对于类私有的字段，Scala生成私有的getter和setter方法。但对于对象私有的字段，Scala根本不会生成getter或setter方法。

54

说明： Scala允许你将访问权赋予指定的类。private[*类名*]修饰符可以定义仅有指定类的方法可以访问给定的字段。这里的*类名*必须是当前定义的类，或者是包含该类的外部类（关于内部类的讨论参见5.8节）。

在这种情况下，编译器会生成辅助的getter和setter方法，允许外部类访问该字段。这些类将会是公有的，因为JVM并没有更细粒度的访问控制系统，并且它们的名称也会随着JVM实现不同而不同。

5.5 Bean属性 L1

正如你在前面的章节所看到的，Scala对于你定义的字段提供了getter和setter方法。不过，这些方法的名称并不是Java工具所预期的。JavaBeans规范（www.oracle.com/technetwork/java/javase/tech/index-jsp-138795.html）把Java属性定义为一对getFoo/setFoo方法（或者对于只读属性而言单个getFoo方法）。许多Java工具都依赖这样的命名习惯。

当你将Scala字段标注为@BeanProperty时，这样的方法会自动生成。例如：

```
import scala.reflect.BeanProperty
```

```
class Person {
  @BeanProperty var name: String = _
}
```

将会生成四个方法：

1. name: String
2. name_=(newValue: String): Unit
3. getName(): String
4. setName(newValue: String): Unit

表5-1显示了在各种情况下哪些方法会被生成。

说明：如果你以主构造器参数的方式定义了某字段（参见5.7节），并且你需要JavaBeans版的getter和setter方法，像如下这样给构造器参数加上注解即可：

55

```
class Person(@BeanProperty var name: String)
```

表5-1 针对字段生成的方法

Scala字段	生成的方法	何时使用
val/var name	公有的name name_=（仅限于var）	实现一个可以被公开访问并且背后是以字段形式保存的属性
@BeanProperty val/var name	公有的name getName() name_=（仅限于var） setName(...)（仅限于var）	与JavaBeans互操作
private val/var name	私有的name name_=（仅限于var）	用于将字段访问限制在本类的方法，就和Java一样。尽量使用private——除非你真的需要一个公有的属性
private[this] val/var name	无	用于将字段访问限制在同一个对象上调用的方法。并不经常用到
private[类名] val/var name	依赖于具体实现	将访问权赋予外部类。并不经常用到

5.6 辅助构造器

和Java或C++一样，Scala也可以有任意多的构造器。不过，Scala类有一个构造器比其他所有构造器都更为重要，它就是*主构造器*（primary constructor）。除了主构造器之外，类还可以有任意多的*辅助构造器*（auxiliary constructor）。

我们将首先讨论辅助构造器，这是因为它们更容易理解。它们同Java或C++的构造器十分相似，只有两处不同。

1. 辅助构造器的名称为this。（在Java或C++中，构造器的名称和类名相同——当你修改类名时就不那么方便了。）
2. 每一个辅助构造器都必须以一个对先前已定义的其他辅助构造器或主构造器的调用开始。

56

这里有一个带有两个辅助构造器的类。

```
class Person {
  private var name = ""
  private var age = 0

  def this(name: String) { // 一个辅助构造器
    this() // 调用主构造器
    this.name = name
  }

  def this(name: String, age: Int) { // 另一个辅助构造器
    this(name) // 调用前一个辅助构造器
    this.age = age
  }
}
```

我们将在5.7节介绍主构造器。现阶段只需要知道一个类如果没有显式定义主构造器则自动拥有一个无参的主构造器即可。

你可以以三种方式构建对象：

```
val p1 = new Person // 主构造器
val p2 = new Person("Fred") // 第一个辅助构造器
val p3 = new Person("Fred", 42) // 第二个辅助构造器
```

5.7 主构造器

在Scala中，每个类都有主构造器。主构造器并不以this方法定义，而是与类定义交织在一起。

1. 主构造器的参数直接放置在类名之后。

```
class Person(val name: String, val age: Int) {
  // (...)中的内容就是主构造器的参数
  ...
}
```

主构造器的参数被编译成字段，其值被初始化成构造时传入的参数。在本例中，name和age成为Person类的字段。如new Person("Fred", 42)这样的构造器调用将设置name和age字段。

57 我们只用半行Scala就完成了七行Java代码的工作：

```
public class Person { // 这是Java
  private String name;
  private int age;
  public Person(String name, int age) {
    this.name = name;
    this.age = age;
  }
  public String name() { return this.name; }
  public int age() { return this.age; }
  ...
}
```

2. 主构造器会执行类定义中的所有语句。例如在以下类中：

```
class Person(val name: String, val age: Int) {
  println("Just constructed another person")
  def description = name + " is " + age + " years old"
}
```

println语句是主构造器的一部分。每当有对象被构造出来时，上述代码就会被执行。当你需要在构造过程当中配置某个字段时这个特性特别有用。例如：

```
class MyProg {
  private val props = new Properties
  props.load(new FileReader("myprog.properties"))
    // 上述语句是主构造器的一部分
  ...
}
```

说明：如果类名之后没有参数，则该类具备一个无参主构造器。这样一个构造器仅仅是简单地执行类体中的所有语句而已。

提示：你通常可以通过在主构造器中使用默认参数来避免过多地使用辅助构造器。例如：

```
class Person(val name: String = "", val age: Int = 0)
```

58

主构造器的参数可以采用表5-1中列出的任意形态。例如：

```
class Person(val name: String, private var age: Int)
```

这段代码将声明并初始化如下字段：

```
val name: String
private var age: Int
```

构造参数也可以是普通的方法参数，不带val或var。这样的参数如何处理取决于它们在类中如何被使用。

- 如果不带val或var的参数至少被一个方法所使用，它将被升格为字段。例如：

```
class Person(name: String, age: Int) {
  def description = name + " is " + age + " years old"
}
```

上述代码声明并初始化了不可变字段name和age，而这两个字段都是对象私有的。

类似这样的字段等同于 private[this] val 字段的效果（参见5.4节）。

- 否则，该参数将不被保存为字段。它仅仅是一个可以被主构造器中的代码访问的普通参数。（严格地说，这是一个具体实现相关的优化。）

表5-2总结了不同类型的主构造器参数对应会生成的字段和方法。

表5-2 针对主构造器参数生成的字段和方法

主构造器参数	生成的字段/方法
name: String	对象私有字段。如果没有方法使用name，则没有该字段
private val/var name: String	私有字段，私有的getter/setter方法
val/var name: String	私有字段，公有的getter/setter方法
@BeanProperty val/var name: String	私有字段，公有的Scala版和JavaBeans版的getter/setter方法

如果主构造器的表示法让你困惑，你不需要使用它。你只要按照常规的做法提供一个或多个辅助构造器即可，不过要记得调用this()，如果你不和其他辅助构造器串接的话。

话虽如此，许多程序员还是喜欢主构造器这种精简的写法。Martin Odersky建议这样来看待主构造器：在Scala中，类也接受参数，就像方法一样。

59

说明：当你把主构造器的参数看做是类参数时，不带val或var的参数就变得易于理解了。这样的参数的作用域涵盖了整个类。因此，你可以在方法中使用它们。而一旦你这样做了，编译器就自动帮你将它保存为字段。

提示：Scala设计者们认为*每敲一个键都是珍贵的*，因此他们让你可以把类定义和主构造器结合在一起。当你阅读一个Scala类时，你需要将它们分开。举例来说，当你看到如下代码时：

```
class Person(val name: String) {
  var age = 0
  def description = name + " is " + age + " years old"
}
```

把它拆开成一个类定义：

```
class Person(val name: String) {
  var age = 0
  def description = name + " is " + age + " years old"
}
```

和一个构造器定义：

```
class Person(val name: String) {
  var age = 0
  def description = name + " is " + age + " years old"
}
```

说明：如果想让主构造器变成私有的，可以像这样放置private关键字：

```
class Person private(val id: Int) { ... }
```

这样一来类用户就必须通过辅助构造器来构造Person对象了。

5.8 嵌套类 L1

在Scala中，你几乎可以在任何语法结构中内嵌任何语法结构。你可以在函数中定义函数，在类中定义类。以下代码是在类中定义类的一个示例：

60

```
import scala.collection.mutable.ArrayBuffer
class Network {
  class Member(val name: String) {
    val contacts = new ArrayBuffer[Member]
  }

  private val members = new ArrayBuffer[Member]

  def join(name: String) = {
    val m = new Member(name)
    members += m
    m
  }
}
```

考虑有如下两个网络：

```
val chatter = new Network
val myFace = new Network
```

在Scala中，每个实例都有它自己的Member类，就和它们有自己的members字段一样。也就是说，chatter.Member和myFace.Member是不同的两个类。

说明：这和Java不同，在Java中内部类从属于外部类。

Scala采用的方式更符合常规。举例来说，要构建一个新的内部对象，你只需要简单的new这个类名：new chatter.Member。而在Java中，你需要使用一个特殊语法：chatter.new Member()。

拿我们的网络示例来讲，你可以在各自的网络中添加成员，但不能跨网添加成员。

```
val fred = chatter.join("Fred")
val wilma = chatter.join("Wilma")
fred.contacts += wilma // OK
val barney = myFace.join("Barney") // 类型为myFace.Member
fred.contacts += barney
  // 不可以这样做——不能将一个myFace.Member添加到chatter.Member元素缓冲当中
```

对于社交网络而言，这样的行为是讲得通的。如果你不希望是这个效果，有两种
61 解决方式。

首先，你可以将Member类移到别处。一个不错的位置是Network的伴生对象。（我们将在第6章介绍伴生对象。）

```
object Network {
  class Member(val name: String) {
    val contacts = new ArrayBuffer[Member]
  }
}

class Network {
  private val members = new ArrayBuffer[Network.Member]
  ...
}
```

或者，你也可以使用类型投影 Network#Member，其含义是“任何Network的Member”。例如：

```
class Network {
  class Member(val name: String) {
    val contacts = new ArrayBuffer[Network#Member]
  }
  ...
}
```

如果你只想在某些地方，而不是所有地方，利用这个细粒度的“每个对象有自己的内部类”的特性，则可以考虑使用类型投影。关于类型投影的更多内容参见第18章。

说明：在内嵌类中，你可以通过外部类.this 的方式来访问外部类的this引用，就像Java那样。如果你觉得需要，也可以用如下语法建立一个指向该引用的别名：

```
class Network(val name: String) { outer =>
  class Member(val name: String) {
    ...
    def description = name + " inside " + outer.name
  }
}
```

class Network { outer => 语法使得outer变量指向Network.this。对这个变量，你可以用任何合法的名称。self这个名称很常见，但用在嵌套类中可能会引发歧义。

这样的语法和“自身类型”语法相关，你将会在第18章看到更多内容。

62

练习

1. 改进5.1节的Counter类，让它不要在Int.MaxValue时变成负数。
2. 编写一个BankAccount类，加入deposit和withdraw方法，和一个只读的balance属性。
3. 编写一个Time类，加入只读属性hours和minutes，和一个检查某一时刻是否早于另一时刻的方法before(other: Time): Boolean。Time对象应该以new Time(hrs, min)方式构建，其中hrs小时数以军用时间格式呈现（介于0和23之间）。

4. 重新实现前一个练习中的Time类，将内部呈现改成自午夜起的分钟数（介于0到24×60−1之间）。不要改变公有接口。也就是说，客户端代码不应因你的修改而受到影响。
5. 创建一个Student类，加入可读写的JavaBeans属性name（类型为String）和id（类型为Long）。有哪些方法被生成？（用javap查看。）你可以在Scala中调用JavaBeans版的getter和setter方法吗？应该这样做吗？
6. 在5.2节的Person类中提供一个主构造器，将负年龄转换为0。
7. 编写一个Person类，其主构造器接受一个字符串，该字符串包含名字、空格和姓，如new Person("Fred Smith")。提供只读属性firstName和lastName。主构造器参数应该是var、val还是普通参数呢？为什么？
8. 创建一个Car类，以只读属性对应制造商、型号名称、型号年份以及一个可读写的属性用于车牌。提供四组构造器。每一个构造器都要求制造商和型号名称为必填。型号年份以及车牌为可选，如果未填，则型号年份设置为−1，车牌设置为空字符串。你会选择哪一个作为你的主构造器？为什么？
9. 在Java、C#或C++（你自己选）重做前一个练习。Scala相比之下精简多少？
10. 考虑如下类：

```
class Employee(val name: String, var salary: Double) {
 def this() { this("John Q. Public", 0.0) }
}
```

重写该类，使用显式的字段定义，和一个缺省主构造器。你更倾向于使用哪一种形式？为什么？

第6章 对 象

本章的主题 A1

- 6.1 单例对象——第69页
- 6.2 伴生对象——第70页
- 6.3 扩展类或特质的对象——第71页
- 6.4 apply方法——第72页
- 6.5 应用程序对象——第73页
- 6.6 枚举——第74页
- 练习——第75页

Chapter 6

在本章中，你将会学到何时使用Scala的object语法结构。在你需要某个类的单个实例时，或者想为其他值或函数找一个可以挂靠的地方时，你就会用到它。

本章的要点包括：

- 用对象作为单例或存放工具方法。
- 类可以拥有一个同名的伴生对象。
- 对象可以扩展类或特质。
- 对象的apply方法通常用来构造伴生类的新实例。
- 如果不想显式定义main方法，可以用扩展App特质的对象。
- 你可以通过扩展Enumeration对象来实现枚举。

6.1 单例对象

Scala没有静态方法或静态字段，你可以用object这个语法结构来达到同样目的。对象定义了某个类的单个实例，包含了你想要的特性。例如：

```
object Accounts {
  private var lastNumber = 0
```

```
  def newUniqueNumber() = { lastNumber += 1; lastNumber }
}
```

65

当你在应用程序中需要一个新的唯一账号时，调用Account.newUniqueNumber()即可。

对象的构造器在该对象第一次被使用时调用。在本例中，Accounts的构造器在Accounts.newUniqueNumber()的首次调用时执行。如果一个对象从未被使用，那么其构造器也不会被执行。

对象本质上可以拥有类的所有特性——它甚至可以扩展其他类或特质（参见6.3节）。只有一个例外：你不能提供构造器参数。

对于任何你在Java或C++中会使用单例对象的地方，在Scala中都可以用对象来实现：

- 作为存放工具函数或常量的地方。
- 高效地共享单个不可变实例。
- 需要用单个实例来协调某个服务时（参考单例模式）。

说明：很多人都看低单例模式。Scala提供的是工具，可以做出好的设计，也可以做出糟糕的设计，你需要做出自己的判断。

6.2 伴生对象

在Java或C++中，你通常会用到既有实例方法又有静态方法的类。在Scala中，你可以通过类和与类同名的“伴生”对象来达到同样的目的。例如：

```
class Account {
  val id = Account.newUniqueNumber()
  private var balance = 0.0
  def deposit(amount: Double) { balance += amount }
  ...
}

object Account { // 伴生对象
  private var lastNumber = 0
```

```
  private def newUniqueNumber() = { lastNumber += 1; lastNumber }
}
```

类和它的伴生对象可以相互访问私有特性。它们必须存在于同一个源文件中。 66

说明：类的伴生对象可以被访问，但并不在作用域当中。举例来说，Account类必须通过Account.newUniqueNumber()而不是直接用newUniqueNumber()来调用伴生对象的方法。

提示：在REPL中，要同时定义类和对象，你必须用粘贴模式。键入：

```
:paste
```

然后键入或粘贴类和对象的定义，最后以Ctrl+D退出粘贴模式。

6.3 扩展类或特质的对象

一个object可以扩展类以及一个或多个特质，其结果是一个扩展了指定类以及特质的类的对象，同时拥有在对象定义中给出的所有特性。

一个有用的使用场景是给出可被共享的缺省对象。举例来说，考虑在程序中引入一个可撤销动作的类：

```
abstract class UndoableAction(val description: String) {
  def undo(): Unit
  def redo(): Unit
}
```

默认情况下可以是“什么都不做”。当然了，对于这个行为我们只需要一个实例即可。

```
object DoNothingAction extends UndoableAction("Do nothing") {
  override def undo() {}
  override def redo() {}
}
```

DoNothingAction对象可以被所有需要这个缺省行为的地方共用。

```
val actions = Map("open" -> DoNothingAction, "save" -> DoNothingAction, ...)
  // 打开和保存功能尚未实现
```

6.4 apply方法

我们通常会定义和使用对象的apply方法。当遇到如下形式的表达式时，apply方法就会被调用：

```
Object(参数1, ..., 参数N)
```

67

通常，这样一个apply方法返回的是伴生类的对象。

举例来说，Array对象定义了apply方法，让我们可以用下面这样的表达式来创建数组：

```
Array("Mary", "had", "a", "little", "lamb")
```

为什么不用构造器呢？对于嵌套表达式而言，省去new关键字会方便很多，例如：

```
Array(Array(1, 7), Array(2, 9))
```

注意： Array(100)和new Array(100)很容易搞混。前一个表达式调用的是apply(100)，输出一个单元素（整数100）的Array[Int]；而第二个表达式调用的是构造器this(100)，结果是Array[Nothing]，包含了100个null元素。

这里有一个定义apply方法的示例：

```
class Account private (val id: Int, initialBalance: Double) {
  private var balance = initialBalance
  ...
}

object Account { // 伴生对象
  def apply(initialBalance: Double) =
    new Account(newUniqueNumber(), initialBalance)
  ...
}
```

这样一来你就可以用如下代码来构造账号了：

```
val acct = Account(1000.0)
```

6.5 应用程序对象

每个Scala程序都必须从一个对象的main方法开始，这个方法的类型为 Array[String] => Unit：

```
object Hello {
  def main(args: Array[String]) {
    println("Hello, World!")
  }
}
```

除了每次都提供自己的main方法外，你也可以扩展App特质，然后将程序代码放入构造器方法体内：

68

```
object Hello extends App {
  println("Hello, World!")
}
```

如果你需要命令行参数，则可以通过args属性得到：

```
object Hello extends App {
  if (args.length > 0)
    println("Hello, " + args(0))
  else
    println("Hello, World!")
}
```

如果你在调用该应用程序时设置了scala.time选项的话，程序退出时会显示逝去的时间。

```
$ scalac Hello.scala
$ scala -Dscala.time Hello Fred
Hello, Fred
[total 4ms]
```

所有这些涉及一些小小的魔法。App特质扩展自另一个特质DelayedInit，编译器对

该特质有特殊处理。所有带有该特质的类，其初始化方法都会被挪到delayedInit方法中。App特质的main方法捕获到命令行参数，调用delayedInit方法，并且还可以根据要求打印出逝去的时间。

说明：较早版本的Scala有一个Application特质来达到同样的目的。那个特质是在静态初始化方法中执行程序动作，并不被即时编译器优化。因此应尽量使用新的App特质。

6.6 枚举

和Java或C++不同，Scala并没有枚举类型。不过，标准类库提供了一个Enumeration助手类，可以用于产出枚举。

定义一个扩展Enumeration类的对象并以Value方法调用初始化枚举中的所有可选值。例如：

```
object TrafficLightColor extends Enumeration {
  val Red, Yellow, Green = Value
}
```

在这里我们定义了三个字段：Red、Yellow和Green，然后用Value调用将它们初始化。这是如下代码的简写：

69

```
val Red = Value
val Yellow = Value
val Green = Value
```

每次调用Value方法都返回内部类的新实例，该内部类也叫做Value。

或者，你也可以向Value方法传入ID、名称，或两个参数都传：

```
val Red = Value(0, "Stop")
val Yellow = Value(10) // 名称为"Yellow"
val Green = Value("Go") // ID为11
```

如果不指定，则ID在将前一个枚举值基础上加一，从零开始。缺省名称为字段名。

定义完成后，你就可以用TrafficLightColor.Red、TrafficLightColor.Yellow等来引用

枚举值了。如果这些变得冗长烦琐，则可以用如下语句直接引入枚举值：

```
import TrafficLightColor._
```

（关于引入类或对象的成员的更多信息，参见第7章。）

记住枚举的类型是TrafficLightColor.Value而不是TrafficLightColor——后者是握有这些值的对象。有人推荐增加一个类型别名：

```
object TrafficLightColor extends Enumeration {
  type TrafficLightColor = Value
  val Red, Yellow, Green = Value
}
```

现在枚举的类型变成了TrafficLightColor.TrafficLightColor，但仅当你使用import语句时这样做才显得有意义。例如：

```
import TrafficLightColor._
def doWhat(color: TrafficLightColor) = {
  if (color == Red) "stop"
  else if (color == Yellow) "hurry up"
  else "go"
}
```

枚举值的ID可通过id方法返回，名称通过toString方法返回。

对TrafficLightColor.values的调用输出所有枚举值的集：

```
for (c <- TrafficLightColor.values) println(c.id + ": " + c)
```

最后，你可以通过枚举的ID或名称来进行查找定位，以下两段代码都输出TrafficLightColor.Red对象：

70

```
TrafficLightColor(0) // 将调用Enumeration.apply
TrafficLightColor.withName("Red")
```

练习

1. 编写一个Conversions对象，加入inchesToCentimeters、gallonsToLiters和milesToKilometers方法。

2. 前一个练习不是很面向对象。提供一个通用的超类UnitConversion并定义扩展该超类的InchesToCentimeters、GallonsToLiters和MilesToKilometers对象。
3. 定义一个扩展自java.awt.Point的Origin对象。为什么说这实际上不是个好主意？（仔细看Point类的方法。）
4. 定义一个Point类和一个伴生对象，使得我们可以不用new而直接用Point(3, 4)来构造Point实例。
5. 编写一个Scala应用程序，使用App特质，以反序打印命令行参数，用空格隔开。举例来说，scala Reverse Hello World应该打印出World Hello。
6. 编写一个扑克牌4种花色的枚举，让其toString方法分别返回♣、♦、♥或♠。
7. 实现一个函数，检查某张牌的花色是否为红色。
8. 编写一个枚举，描述RGB立方体的8个角。ID使用颜色值（例如，红色是0xff0000）。

第7章　包和引入

本章的主题 A1

- 7.1　包——第80页
- 7.2　作用域规则——第81页
- 7.3　串联式包语句——第83页
- 7.4　文件顶部标记法——第83页
- 7.5　包对象——第84页
- 7.6　包可见性——第85页
- 7.7　引入——第85页
- 7.8　任何地方都可以声明引入——第86页
- 7.9　重命名和隐藏方法——第87页
- 7.10　隐式引入——第87页
- 练习——第88页

Chapter 7

在本章中，你将会了解到Scala中的包和引入语句是如何工作的。相比Java，不论是包还是引入都更加符合常规，也更灵活一些。

本章的要点包括：

- 包也可以像内部类那样嵌套。
- 包路径不是绝对路径。
- 包声明链x.y.z并不自动将中间包x和x.y变成可见。
- 位于文件顶部不带花括号的包声明在整个文件范围内有效。
- 包对象可以持有函数和变量。
- 引入语句可以引入包、类和对象。
- 引入语句可以出现在任何位置。
- 引入语句可以重命名和隐藏特定成员。
- java.lang、scala和Predef总是被引入。

7.1 包

Scala的包和Java中的包或者C++中的命名空间的目的是相同的：管理大型程序中的名称。举例来说，Map这个名称可以同时出现在scala.collection.immutable和scala.collection.mutable包而不会冲突。要访问它们中的任何一个，你可以使用完全限定的名称scala.collection.immutable.Map或scala.collection.mutable.Map，也可以使用引入语句来提供一个更短小的别名——参见7.7节。

要增加条目到包中，你可以将其包含在包语句当中，比如：

```
package com {
  package horstmann {
    package impatient {
      class Employee
      ...
    }
  }
}
```

这样一来类名Employee就可以在任意位置以com.horstmann.impatient.Employee访问到了。

与对象或类的定义不同，同一个包可以定义在多个文件当中。前面这段代码可能出现在文件Employee.scala中，而另一个名为Manager.scala的文件可能会包含：

```
package com {
  package horstmann {
    package impatient {
      class Manager
      ...
    }
  }
}
```

说明：源文件的目录和包之间并没有强制的关联关系。你不需要将Employee.scala和Manager.scala放在com/horstmann/impatient目录当中。

换个角度讲，你也可以在同一个文件当中为多个包贡献内容。Employee.scala文件可以包含：

74

```
package com {
  package horstmann {
    package impatient {
      class Employee
      ...
    }
  }
}

package org {
  package bigjava {
    class Counter
    ...
  }
}
```

7.2 作用域规则

在Scala中，包的作用域比起Java来更加前后一致。Scala的包和其他作用域一样地支持嵌套。你可以访问上层作用域中的名称。例如：

```
package com {
  package horstmann {
    object Utils {
      def percentOf(value: Double, rate: Double) = value * rate / 100
      ...
    }

    package impatient {
      class Employee {
        ...
        def giveRaise(rate: scala.Double) {
          salary += Utils.percentOf(salary, rate)
```

```
        }
      }
    }
  }
}
```

注意Utils.percentOf修饰符。Utils类定义于父包。所有父包中的内容都在作用域内，因此没必要使用com.horstmann.Utils.precentOf。（如果你愿意，当然也可以这样用——毕竟com也在作用域内。）

75

不过，这里有一个瑕疵。假定有如下代码：

```
package com {
  package horstmann {
    package impatient {
      class Manager {
        val subordinates = new collection.mutable.ArrayBuffer[Employee]
        ...
      }
    }
  }
}
```

这里我们利用到一个特性，那就是scala包总是被引入。因此，collection包实际上指向的是scala.collection。

现在假定有人加入了如下的包，可能位于另一个文件当中：

```
package com {
  package horstmann {
    package collection {
      ...
    }
  }
}
```

这下Manager类将不再能通过编译。编译器尝试在com.horstmann.collection包中查找mutable成员未果。Manager类的本意是要使用顶级的scala包中的collection包，而不是随便什么存在于可访问作用域中的子包。

在Java中，这个问题不会发生，因为包名总是绝对的，从包层级的最顶端开始。但是在Scala中，包名是相对的，就像内部类的名称一样。内部类通常不会遇到这个问题，因为所有代码都在同一个文件当中，由负责该文件的人直接控制。但是包不一样，任何人都可以在任何时候向任何包添加内容。

解决方法之一是使用绝对包名，以_root_开始，例如：

```
val subordinates = new _root_.scala.collection.mutable.ArrayBuffer[Employee]
```

另一种做法是使用“串联式”包语句，在7.3节会详细讲到。 76

说明：大多数程序员都使用完整的包名，只是不加_root_前缀。只要大家都避免用scala、java、com、org等名称来命名嵌套的包，这样做就是安全的。

7.3 串联式包语句

包语句可以包含一个“串”，或者说路径区段，例如：

```
package com.horstmann.impatient {
  // com和com.horstmann的成员在这里不可见
  package people {
    class Person
    ...
  }
}
```

这样的包语句限定了可见的成员。现在com.horstmann.collection包不再能够以collection访问到了。

7.4 文件顶部标记法

除了我们到目前为止看到的嵌套标记法外，你也可以在文件顶部使用package语句，不带花括号。例如：

```
package com.horstmann.impatient
package people
```

```
class Person
  ...
```

这等同于

```
package com.horstmann.impatient {
  package people {
    class Person
    ...
    // 直到文件末尾
  }
}
```

如果文件中的所有代码属于同一个包的话（这也是通常的情形），这是更好的做法。

77

注意在上面的示例当中，文件的所有内容都属于 com.horstmann.impatient.people，但com.horstmann.impatient包的内容是可见的，可以被直接引用。

7.5 包对象

包可以包含类、对象和特质，但不能包含函数或变量的定义。很不幸，这是Java虚拟机的局限。把工具函数或常量添加到包而不是某个Utils对象，这是更加合理的做法。包对象的出现正是为了解决这个局限。

每个包都可以有一个包对象。你需要在父包中定义它，且名称与子包一样。例如：

```
package com.horstmann.impatient

package object people {
  val defaultName = "John Q. Public"
}

package people {
  class Person {
    var name = defaultName // 从包对象拿到的常量
```

```
  }
  ...
}
```

注意defaultName不需要加限定词，因为它位于同一个包内。在其他地方，这个常量可以用com.horstmann.impatient.people.defaultName访问到。

在幕后，包对象被编译成带有静态方法和字段的JVM类，名为package.class，位于相应的包下。对应到本例中，就是com.horstmann.impatient.people.package，其中有一个静态字段defaultName。（在JVM中，你可以使用package作为类名。）

对源文件使用相同的命名规则是好习惯，可以把包对象放到文件com/horstmann/impatient/people/package.scala。这样一来，任何人想要对包增加函数或变量的话，都可以很容易地找到对应的包对象。

7.6 包可见性

在Java中，没有被声明为public、private或protected的类成员在包含该类的包中可见。在Scala中，你可以通过修饰符达到同样的效果。以下方法在它自己的包中可见：

78

```
package com.horstmann.impatient.people

class Person {
  private[people] def description = "A person with name " + name
  ...
}
```

你可以将可见度延展到上层包：

```
private[impatient] def description = "A person with name " + name
```

7.7 引入

引入语句让你可以使用更短的名称而不是原来较长的名称。写法如下：

```
import java.awt.Color
```

这样一来，你就可以在代码中写Color而不是java.awt.Color了。

这就是引入语句的唯一目的。如果你不介意长名称，你完全不需要使用引入。

你可以引入某个包的全部成员：

```
import java.awt._
```

这和Java中的通配符*一样。（在Scala中，*是合法的标识符。你完全可以定义com.horstmann.*.people这样的包，但请别这样做。）

你也可以引入类或对象的所有成员。

```
import java.awt.Color._
val c1 = RED // Color.RED
val c2 = decode("#ff0000") // Color.decode
```

这就像Java中的import static。Java程序员似乎挺害怕这种写法，但在Scala中这样的引入很常见。

一旦你引入了某个包，你就可以用较短的名称访问其子包。例如：

```
import java.awt._

def handler(evt: event.ActionEvent) { // java.awt.event.ActionEvent
  ...
}
```

79 event包是java.awt包的成员，因此引入语句把它也带进了作用域。

7.8 任何地方都可以声明引入

在Scala中，import语句可以出现在任何地方，并不仅限于文件顶部。import语句的效果一直延伸到包含该语句的块末尾。例如：

```
class Manager {
  import scala.collection.mutable._
  val subordinates = new ArrayBuffer[Employee]
  ...
}
```

这是个很有用的特性，尤其是对于通配引入而言。从多个源引入大量名称总是让人担心。事实上，有些Java程序员特别不喜欢通配引入，以至于从不使用这个特性，而是让

IDE帮他们生成一长串引入语句。

通过将引入放置在需要这些引入的地方，你可以大幅减少可能的名称冲突。

7.9 重命名和隐藏方法

如果你想要引入包中的几个成员，可以像这样使用选取器（selector）：

```
import java.awt.{Color, Font}
```

选取器语法还允许你重命名选到的成员：

```
import java.util.{HashMap => JavaHashMap}
import scala.collection.mutable._
```

这样一来，JavaHashMap就是java.util.HashMap，而HashMap则对应scala.collection.mutable.HashMap。

选取器HashMap => _将隐藏某个成员而不是重命名它。这仅在你需要引入其他成员时有用：

```
import java.util.{HashMap => _, _}
import scala.collection.mutable._
```

现在，HashMap无二义地指向scala.collection.mutable.HashMap，因为java.util.HashMap被隐藏起来了。

7.10 隐式引入

每个Scala程序都隐式地以如下代码开始：

```
import java.lang._
import scala._
import Predef._
```


和Java程序一样，java.lang总是被引入。接下来，scala包也被引入，不过方式有些特殊。不像所有其他引入，这个引入被允许可以覆盖之前的引入。举例来说，scala.StringBuilder会覆盖java.lang.StringBuilder而不是与之冲突。

最后，Predef对象被引入。它包含了相当多有用的函数。（这些同样可以被放置在

scala包对象中，不过Predef在Scala还没有加入包对象之前就存在了。）

由于scala包默认被引入，对于那些以scala开头的包，你完全不需要写全这个前缀。例如：

```
collection.mutable.HashMap
```

上述代码和以下写法一样好：

```
scala.collection.mutable.HashMap
```

练习

1. 编写示例程序，展示为什么

   ```
   package com.horstmann.impatient
   ```

   不同于

   ```
   package com
   package horstmann
   package impatient
   ```

2. 编写一段让你的Scala朋友们感到困惑的代码，使用一个不在顶部的com包。
3. 编写一个包random，加入函数nextInt(): Int、nextDouble(): Double和setSeed(seed: Int): Unit。生成随机数的算法采用线性同余生成器：

   后值 = (前值 × a + b) mod 2^n

   其中，a = 1664525，b = 1013904223，n = 32，前值的初始值为seed。
4. 在你看来，Scala的设计者为什么要提供package object语法而不是简单地让你将函数和变量添加到包中呢？
5. private[com] def giveRaise(rate: Double)的含义是什么？有用吗？
6. 编写一段程序，将Java哈希映射中的所有元素拷贝到Scala哈希映射。用引入语句重命名这两个类。
7. 在前一个练习中，将所有引入语句移动到尽可能小的作用域里。
8. 以下代码的作用是什么？这是个好主意吗？

   ```
   import java._
   import javax._
   ```

81

9. 编写一段程序，引入java.lang.System类，从user.name系统属性读取用户名，从Console对象读取一个密码，如果密码不是"secret"，则在标准错误流中打印一个消息；如果密码是"secret"，则在标准输出流中打印一个问候消息。不要使用任何其他引入，也不要使用任何限定词（带句点的那种）。
10. 除了StringBuilder，还有哪些java.lang的成员是被scala包覆盖的？ 82

第8章 继 承

本章的主题 A1

- 8.1 扩展类——第91页
- 8.2 重写方法——第92页
- 8.3 类型检查和转换——第93页
- 8.4 受保护字段和方法——第94页
- 8.5 超类的构造——第94页
- 8.6 重写字段——第95页
- 8.7 匿名子类——第96页
- 8.8 抽象类——第97页
- 8.9 抽象字段——第97页
- 8.10 构造顺序和提前定义 L3——第98页
- 8.11 Scala继承层级——第100页
- 8.12 对象相等性 L1——第101页
- 练习——第102页

Chapter 8

在本章中，你将了解到Scala的继承与Java和C++最显著的不同。要点包括：

- extends、final关键字和Java中相同。
- 重写方法时必须用override。
- 只有主构造器可以调用超类的主构造器。
- 你可以重写字段。

在本章中，我们只探讨类继承自另一个类的情况。继承特质的内容参见第10章——特质是将Java接口变得更为通用的Scala概念。

8.1 扩展类

Scala扩展类的方式和Java一样——使用extends关键字：

```
class Employee extends Person {
  var salary = 0.0
  ...
}
```

和Java一样，你在定义中给出子类需要而超类没有的字段和方法，或者重写超类的方法。

和Java一样，你可以将类声明为final，这样它就不能被扩展。你还可以将单个方法或字段声明为final，以确保它们不能被重写（参见8.6节）。注意这和Java不同，在Java中，final字段是不可变的，类似Scala中的val。

8.2 重写方法

在Scala中重写一个非抽象方法必须使用override修饰符（参见8.8节）。例如：

```
public class Person {
  ...
  override def toString = getClass.getName + "[name=" + name + "]"
}
```

override修饰符可以在多个常见情况下给出有用的错误提示，包括：

- 当你拼错了要重写的方法名。
- 当你不小心在新方法中使用了错误的参数类型。
- 当你在超类中引入了新的方法，而这个新的方法与子类的方法相抵触。

说明：最后一种情况是*易违约基类问题*的体现，超类的修改无法在不检查所有子类的前提下被验证。假定程序员Alice定义了一个Person类，在Alice完全不知情的情况下，程序员Bob定义了一个子类Student，和一个名为id的方法，返回学生ID。后来，Alice也定义了一个id方法，对应该人员的全国范围的ID。当Bob拿到这个修改后，Bob的程序可能会出问题（但在Alice的测试案例中不会有问题），因为Student对象返回的不再是预期的那个ID了。

在Java中，通常建议的“解决”方法是将所有方法声明为final——除非它们显式地被设计用于重写。这在理论上没有问题，但当程序员连最无伤大雅的修改都不能做时（比如增加日志输出），他们会很恼火。这也是为什么Java最终加入了可选的@Overrides注解。

86

在Scala中调用超类的方法和Java完全一样，使用super关键字：

```
public class Employee extends Person {
  ...
  override def toString = super.toString + "[salary=" + salary + "]"
}
```

super.toString会调用超类的toString方法——亦即Person.toString。

8.3 类型检查和转换

要测试某个对象是否属于某个给定的类，可以用isInstanceOf方法。如果测试成功，你就可以用asInstanceOf方法将引用转换为子类的引用：

```
if (p.isInstanceOf[Employee]) {
  val s = p.asInstanceOf[Employee] // s的类型为Employee
  ...
}
```

如果p指向的是Employee类及其子类（比如Manager）的对象，则p.isInstanceOf[Employee]将会成功。

如果p是null，则p.isInstanceOf[Employee]将返回false，且p.asInstanceOf[Employee]将返回null。

如果p不是一个Employee，则p.asInstanceOf[Employee]将抛出异常。

如果你想要测试p指向的是一个Employee对象但又不是其子类的话，可以用：

```
if (p.getClass == classOf[Employee])
```

classOf方法定义在scala.Predef对象中，因此会被自动引入。

表8-1显示了Scala和Java的类型检查和转换的对应关系。

表8-1 Scala和Java中的类型检查和转换

Scala	Java
obj.isInstanceOf [C]	obj instanceof C
obj.asInstanceOf [C]	(C) obj
classOf [C]	C.class

不过，与类型检查和转换相比，模式匹配通常是更好的选择。例如：

```
p match {
  case s: Employee => ... // 将s作为Employee处理
  case _ => // p不是Employee
}
```

关于模式匹配的更多内容参见第14章。

87

8.4 受保护字段和方法

和Java或C++一样，你可以将字段或方法声明为protected。这样的成员可以被任何子类访问，但不能从其他位置看到。

与Java不同，protected的成员对于类所属的包而言，是不可见的。（如果你需要这样一种可见性，则可以用包修饰符——参见第7章。）

Scala还提供了一个protected[this]的变体，将访问权限定在当前的对象，类似第5章介绍过的private[this]。

8.5 超类的构造

你应该还记得在第5章我们曾提到，类有一个主构造器和任意数量的辅助构造器，而每个辅助构造器都必须以对先前定义的辅助构造器或主构造器的调用开始。

这样做带来的后果是，辅助构造器永远都不可能直接调用超类的构造器。

子类的辅助构造器最终都会调用主构造器。只有主构造器可以调用超类的构造器。

还记得吧，主构造器是和类定义交织在一起的。调用超类构造器的方式也同样交织在一起。这里有一个示例：

```
class Employee(name: String, age: Int, val salary: Double) extends
  Person(name, age)
```

这段代码定义了一个子类：

```
class Employee(name: String, age: Int, val salary: Double) extends
  Person(name, age)
```

和一个调用超类构造器的主构造器：

```
class Employee(name: String, age: Int, val salary: Double) extends
  Person(name, age)
```

将类和构造器交织在一起可以给我们带来更精简的代码。把主构造器的参数当做是类的参数可能更容易理解。本例中的Employee类有三个参数：name、age和salary，其中的两个被“传递”到了超类。

88

在Java中，与上述定义等效的代码就要啰嗦得多：

```
public class Employee extends Person { // Java
  private double salary;
```

```
  public Employee(String name, int age, double salary) {
    super(name, age);
    this.salary = salary;
  }
}
```

说明：在Scala的构造器中，你不能调用super(params)，不像Java，可以用这种方式来调用超类构造器。

Scala类可以扩展Java类。这种情况下，它的主构造器必须调用Java超类的某一个构造方法。例如：

```
class Square(x: Int, y: Int, width: Int) extends
  java.awt.Rectangle(x, y, width, width)
```

8.6 重写字段

你应该还记得在第5章我们介绍过，Scala的字段由一个私有字段和取值器/改值器方法构成。你可以用另一个同名的val字段重写一个val（或不带参数的def）。子类有一个私有字段和一个公有的getter方法，而这个getter方法重写了超类的getter方法。

例如：

```
class Person(val name: String) {
  override def toString = getClass.getName + "[name=" + name + "]"
}

class SecretAgent(codename: String) extends Person(codename) {
  override val name = "secret" // 不想暴露真名...
  override val toString = "secret" // ...或类名
}
```

该示例展示了工作机制，但比较做作。更常见的案例是用val重写抽象的def，就像这样：

89

```
abstract class Person { // 关于抽象类的内容参见8.8节
  def id: Int // 每个人都有一个以某种方式计算出来的ID
  ...
}
```

```
class Student(override val id: Int) extends Person
  // 学生ID通过构造器输入
```

注意如下限制（同时参照表8-2）：

- def只能重写另一个def。
- val只能重写另一个val或不带参数的def。
- var只能重写另一个抽象的var（参见8.8节“抽象类”）。

表8-2 重写val、def和var

	用val	用def	用var
重写val	· 子类有一个私有字段（与超类的字段名字相同——这没问题） · getter方法重写超类的getter方法	错误	错误
重写def	· 子类有一个私有字段 · getter方法重写超类的方法	和Java一样	var可以重写getter/setter对。只重写getter会报错
重写var	错误	错误	仅当超类的var是抽象的才可以（参见8.8节）

说明：在第5章，我曾经说，用var没有问题，因为你随时都可以用getter/setter对来重新实现。不过，扩展你的类的程序员就没得选了。他们不能用getter/setter对重写var。换句话说，如果你给的是var，所有的子类都只能被动接受。

90

8.7 匿名子类

和Java一样，你可以通过包含带有定义或重写的代码块的方式创建一个*匿名的*子类，比如：

```
val alien = new Person("Fred") {
  def greeting = "Greetings, Earthling! My name is Fred."
}
```

从技术上讲，这将会创建出一个*结构类型*的对象——详情参见第18章。该类型标记为Person{def greeting: String}。你可以用这个类型作为参数类型的定义：

```
def meet(p: Person{def greeting: String}) {
```

```
println(p.name + "says: " + p.greeting)
}
```

8.8 抽象类

和Java一样，你可以用abstract关键字来标记不能被实例化的类，通常这是因为它的某个或某几个方法没有被完整定义。例如：

```
abstract class Person(val name: String) {
  def id: Int // 没有方法体——这是一个抽象方法
}
```

在这里我们说每个人都有一个ID，不过我们并不知道如何计算它。每个具体的Person子类都需要给出id方法。在Scala中，不像Java，你不需要对抽象方法使用abstract关键字，你只是省去其方法体。但和Java一样，如果某个类至少存在一个抽象方法，则该类必须声明为abstract。

在子类中重写超类的抽象方法时，你不需要使用override关键字。

```
class Employee(name: String) extends Person(name) {
  def id = name.hashCode // 不需要override关键字
}
```

8.9 抽象字段

除了抽象方法外，类还可以拥有抽象字段。抽象字段就是一个没有初始值的字段。例如：

91

```
abstract class Person {
  val id: Int
    // 没有初始化——这是一个带有抽象的getter方法的抽象字段
  var name: String
    // 另一个抽象字段，带有抽象的getter和setter方法
}
```

该类为id和name字段定义了抽象的getter方法，为name字段定义了抽象的setter方法。生成的Java类并不带字段。

具体的子类必须提供具体的字段，例如：

```
class Employee(val id: Int) extends Person { // 子类有具体的id属性
  var name = "" // 和具体的name属性
}
```

和方法一样，在子类中重写超类中的抽象字段时，不需要override关键字。

你可以随时用匿名类型来定制抽象字段：

```
val fred = new Person {
  val id = 1729
  var name = "Fred"
}
```

8.10 构造顺序和提前定义 L3

当你在子类中重写val并且在超类的构造器中使用该值的话，其行为并不那么显而易见。

有这样一个示例。动物可以感知其周围的环境。简单起见，我们假定动物生活在一维的世界里，而感知数据以整数表示。动物在默认情况下可以看到前方10个单位。

```
class Creature {
  val range: Int = 10
  val env: Array[Int] = new Array[Int](range)
}
```

不过蚂蚁是近视的：

```
class Ant extends Creature {
  override val range = 2
}
```

我们现在面临一个问题：range值在超类的构造器中用到了，而超类的构造器先于子类的构造器运行。确切地说，事情发生的过程是这样的：

92

1. Ant的构造器在做它自己的构造之前，调用Creature的构造器。
2. Creature的构造器将它的range字段设为10。
3. Creature的构造器为了初始化env数组，调用range()取值器。
4. 该方法被重写以输出（还未初始化的）Ant类的range字段值。
5. range方法返回0。（这是对象被分配空间时所有整型字段的初始值。）
6. env被设为长度为0的数组。

7. Ant构造器继续执行，将其range字段设为2。

虽然range字段看上去可能是10或者2，但env被设成了长度为0的数组。这里的教训是你在构造器内不应该依赖val的值。

在Java中，当你在超类的构造方法中调用方法时，会遇到相似的问题。被调用的方法可能被子类重写，因此它可能并不会按照你的预期行事。（事实上，这就是我们问题的核心所在——range表达式调用了getter方法。）

有如下几种解决方式：

- 将val声明为final。这样很安全但并不灵活。
- 在超类中将val声明为lazy（参见第2章）。这样很安全但并不高效。
- 在子类中使用*提前定义语法*——见下面的说明。

所谓的“提前定义”语法让你可以在超类的构造器执行之前初始化子类的val字段。这个语法简直难看到家了，估计没人会喜欢。你需要将val字段放在位于extends关键字之后的一个块中，就像这样：

```
class Ant extends {
  override val range = 2
} with Creature
```

注意超类的类名前的with关键字。这个关键字通常用于指定用到的特质——参见第10章。

提前定义的等号右侧只能引用之前已有的提前定义，而不能使用类中的其他字段或方法。

提示：你可以用-Xcheckinit编译器标志来调试构造顺序的问题。这个标志会生成相应的代码，以便在有未初始化的字段被访问的时候抛出异常（而不是输出缺省值）。

说明：构造顺序问题的根本原因来自Java语言的一个设计决定——即允许在超类的构造方法中调用子类的方法。在C++中，对象的虚函数表的指针在超类构造方法执行的时候被设置成指向超类的虚函数表。之后，才指向子类的虚函数表。因此，在C++中，我们没有办法通过重写修改构造方法的行为。Java设计

者们觉得这个细微差别是多余的，Java虚拟机因此在构造过程中并不调整虚拟函数表。

8.11 Scala继承层级

图8-1展示了Scala类的继承层级。与Java中基本类型相对应的类，以及Unit类型，都扩展自AnyVal。

所有其他类都是AnyRef的子类，AnyRef是Java或.NET虚拟机中Object类的同义词。

AnyVal和AnyRef都扩展自Any类，而Any类是整个继承层级的根节点。

Any类定义了isInstanceOf、asInstanceOf方法，以及用于相等性判断和哈希码的方法，我们将在8.12节中介绍。

AnyVal并没有追加任何方法。它只是所有值类型的一个标记。

AnyRef类追加了来自Object类的监视方法wait和notify/notifyAll。同时提供了一个带函数参数的方法synchronized。这个方法等同于Java中的synchronized块。例如：

```
account.synchronized { account.balance += amount }
```

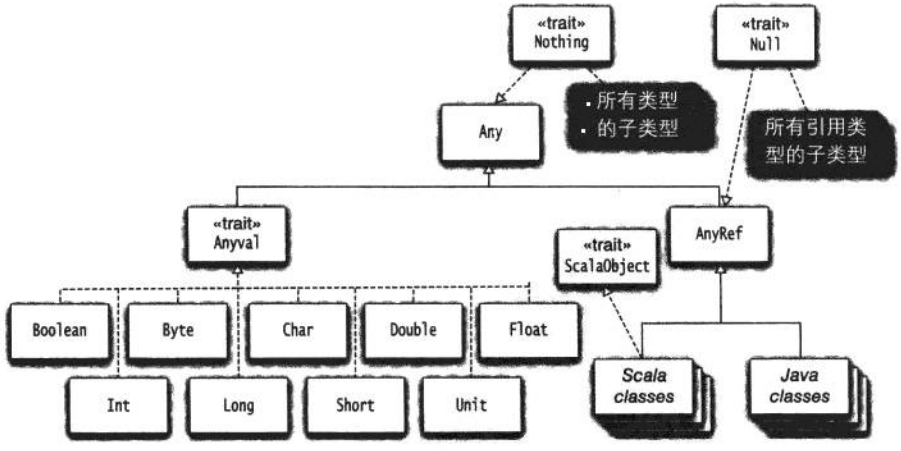


图8-1 Scala类的继承层级

说明：和Java一样，我建议你远离wait、notify和synchronized——除非你有充分的理由使用这些关键字而不是更高层次的并发结构。

所有的Scala类都实现ScalaObject这个标记接口，这个接口没有定义任何方法。

在继承层级的另一端是Nothing和Null类型。

Null类型的唯一实例是null值。你可以将null赋值给任何引用，但不能赋值给值类型的变量。举例来说，我们不能将Int设为null。这比Java更好，在Java中我们可以将Integer包装类引用设为null。

Nothing类型没有实例。它对于泛型结构时常有用。举例来说，空列表Nil的类型是List[Nothing]，它是List[T]的子类型，T可以是任何类。

注意：Nothing类型和Java或C++中的void完全是两个概念。在Scala中，void由Unit类型表示，该类型只有一个值，那就是()。注意Unit并不是任何其他类型的超类型。但是，编译器依然允许任何值被替换成()。考虑如下代码：

```
def printAny(x: Any) { println(x) }
def printUnit(x: Unit) { println(x) }
printAny("Hello") // 将打印 Hello
printUnit("Hello")
 // 将"Hello"替换成()，然后调用printUnit(())，打印出()
```

8.12 对象相等性 L1

在Scala中，AnyRef的eq方法检查两个引用是否指向同一个对象。AnyRef的equals方法调用eq。当你实现类的时候，应该考虑重写equals方法，以提供一个自然的、与你的实际情况相称的相等性判断。

举例来说，如果你定义class Item(val description: String, val price: Double)，你可能会认为当两个物件有着相同描述和价格的时候它们就是相等的。以下是相应的equals方法定义：


```
final override def equals(other: Any) = {
  val that = other.asInstanceOf[Item]
```

```
    if (that == null) false
    else description == that.description && price == that.price
  }
```

说明：我们将方法定义为final，是因为通常而言在子类中正确地扩展相等性判断非常困难。问题出在对称性上。你想让a.equals(b)和b.equals(a)的结果相同，尽管b属于a的子类。

注意：请确保定义的equals方法参数类型为Any。以下代码是错误的：

```
final def equals(other: Item) = { ... }
```

这是一个不相关的方法，并不会重写AnyRef的equals方法。

当你定义equals时，记得同时也定义hashCode。在计算哈希码时，只应使用那些你用来做相等性判断的字段。拿Item这个示例来说，可以将两个字段的哈希码结合起来：

```
final override def hashCode = 13 * description.hashCode + 17 * price.hashCode
```

提示：你并不需要觉得重写equals和hashCode是义务。对很多类而言，将不同的对象看做不相等是很正常的。举例来说，如果你有两个不同的输入流或者单选按钮，则完全不需要考虑它们是否相等的问题。

在应用程序当中，你通常并不直接调用eq或equals，只要用==操作符就好。对于引用类型而言，它会在做完必要的null检查后调用equals方法。

练习

1. 扩展如下的BankAccount类，新类CheckingAccount对每次存款和取款都收取1美元的手续费。

```
class BankAccount(initialBalance: Double) {
  private var balance = initialBalance
  def deposit(amount: Double) = { balance += amount; balance }
  def withdraw(amount: Double) = { balance -= amount; balance }
}
```

2. 扩展前一个练习的BankAccount类，新类SavingsAccount每个月都有利息产生（earnMonthlyInterest方法被调用），并且有每月三次免手续费的存款或取款。在earnMonthlyInterest方法中重置交易计数。
3. 翻开你喜欢的Java或C++教科书，一定会找到用来讲解继承层级的示例，可能是员工、宠物、图形或类似的东西。用Scala来实现这个示例。
4. 定义一个抽象类Item，加入方法price和description。SimpleItem是一个在构造器中给出价格和描述的物件。利用val可以重写def这个事实。Bundle是一个可以包含其他物件的物件。其价格是打包中所有物件的价格之和。同时提供一个将物件添加到打包当中的机制，以及一个合适的description方法。
5. 设计一个Point类，其x和y坐标可以通过构造器提供。提供一个子类LabeledPoint，其构造器接受一个标签值和x、y坐标，比如：

```
new LabeledPoint("Black Thursday", 1929, 230.07)
```

6. 定义一个抽象类Shape、一个抽象方法centerPoint，以及该抽象类的子类Rectangle和Circle。为子类提供合适的构造器，并重写centerPoint方法。
7. 提供一个Square类，扩展自java.awt.Rectangle并且有三个构造器：一个以给定的端点和宽度构造正方形，一个以(0, 0)为端点和给定的宽度构造正方形，一个以(0, 0)为端点、0为宽度构造正方形。
8. 编译8.6节中的Person和SecretAgent类并使用javap分析类文件。总共有多少name的getter方法？它们分别取什么值？（提示：可以用-c和-private选项。）
9. 在8.10节的Creature类中，将val range替换成一个def。如果你在Ant子类中也用def的话会有什么效果？如果在子类中使用val又会有什么效果？为什么？
10. 文件scala/collection/immutable/Stack.scala包含如下定义：

```
class Stack[A] protected (protected val elems: List[A])
```

请解释protected关键字的含义。（提示：回顾我们在第5章关于私有构造器的讨论。）

第9章　文件和正则表达式

本章的主题 A1

- 9.1 读取行——第106页
- 9.2 读取字符——第106页
- 9.3 读取词法单元和数字——第107页
- 9.4 从URL或其他源读取——第108页
- 9.5 读取二进制文件——第108页
- 9.6 写入文本文件——第108页
- 9.7 访问目录——第109页
- 9.8 序列化——第110页
- 9.9 进程控制A2——第111页
- 9.10 正则表达式——第113页
- 9.11 正则表达式组——第114页
- 练习——第114页

Chapter 9

在本章中，你将学习如何执行常用的文件处理任务，比如从文件中读取所有行或单词，或者读取包含数字的文件等。

本章的要点包括：

- Source.fromFile(...).getLines.toArray 输出文件的所有行。
- Source.fromFile(...).mkString 以字符串形式输出文件内容。
- 将字符串转换为数字，可以用toInt或toDouble方法。
- 使用Java的PrintWriter来写入文本文件。
- "正则".r是一个Regex对象。
- 如果你的正则表达式包含反斜杠或引号的话，用"""..."""。
- 如果正则模式包含分组，你可以用如下语法来提取它们的内容 for (regex(变量$_1$, ..., 变量$_n$) <- 字符串)。

9.1 读取行

要读取文件中的所有行，可以调用scala.io.Source对象的getLines方法：

```
import scala.io.Source
val source = Source.fromFile("myfile.txt", "UTF-8")
  // 第一个参数可以是字符串或者是java.io.File
  // 如果你知道文件使用的是当前平台缺省的字符编码，则可以略去第二个字符编码参数
val lineIterator = source.getLines
```

结果是一个迭代器（参见第13章）。你可以用它来逐条处理这些行：

```
for (l <- lineIterator) 处理 l
```

或者你也可以对迭代器应用toArray或toBuffer方法，将这些行放到数组或数组缓冲当中：

```
val lines = source.getLines.toArray
```

有时候，你只想把整个文件读取成一个字符串。那更简单了：

```
val contents = source.mkString
```

注意：在用完Source对象后，记得调用close。

9.2 读取字符

要从文件中读取单个字符，你可以直接把Source对象当做迭代器，因为Source类扩展自Iterator[Char]：

```
for (c <- source) 处理 c
```

如果你想查看某个字符但又不处理掉它的话（类似C++中的istream::peek或Java中的PushbackInputStreamReader），调用source对象的buffered方法。这样你就可以用head方法查看下一个字符，但同时并不把它当做是已处理的字符。

100

```
val source = Source.fromFile("myfile.txt", "UTF-8")
val iter = source.buffered
```

```
while (iter.hasNext) {
  if (iter.head 是符合预期的)
    处理 iter.next
  else
    ...
}
source.close()
```

或者，如果你的文件不是很大，你也可以把它读取成一个字符串进行处理：

```
val contents = source.mkString
```

9.3 读取词法单元和数字

这里有一个快而脏的方式来读取源文件中所有以空格隔开的词法单元：

```
val tokens = source.mkString.split("\\S+")
```

而要把字符串转换成数字，可以用toInt或toDouble方法。举例来说，如果你有一个包含了浮点数的文件，则可以将它们统统读取到数组中：

```
val numbers = for (w <- tokens) yield w.toDouble
```

或者

```
val numbers = tokens.map(_.toDouble)
```


提示：记住——你总是可以使用java.util.Scanner类来处理同时包含文本和数字的文件。

最后，注意你也可以从控制台读取数字：

```
print("How old are you? ")
  // 缺省情况下系统会自动引入Console，因此你并不需要对print和readInt使用限定词
val age = readInt()
  // 或者使用readDouble或readLong
```

注意：这些方法假定下一行输入包含单个数字，且前后都没有空格。否则会报NumberFormatException。

9.4 从URL或其他源读取

Source对象有读取非文件源的方法：

```
val source1 = Source.fromURL("http://horstamnn.com", "UTF-8")
val source2 = Source.fromString("Hello, World!")
  // 从给定的字符串读取——对调试很有用
val source3 = Source.stdin
  // 从标准输入读取
```

注意：当你从URL读取时，你需要事先知道字符集，可能是通过HTTP头获取。更多信息参见 www.w3.org/International/O-charset。

9.5 读取二进制文件

Scala并没有提供读取二进制文件的方法。你需要使用Java类库。以下是如何将文件读取成字节数组：

```
val file = new File(filename)
val in = new FileInputStream(file)
val bytes = new Array[Byte](file.length.toInt)
in.read(bytes)
in.close()
```

9.6 写入文本文件

Scala没有内建的对写入文件的支持。要写入文本文件，可使用java.io.PrintWriter，例如：

```
val out = new PrintWriter("numbers.txt")
for (i <- 1 to 100) out.println(i)
out.close()
```

所有的逻辑都像我们预期的那样，除了printf方法外。当你传递数字给printf时，编译器会抱怨说你需要将它转换成AnyRef：

```
out.printf("%6d %10.2f",
  quantity.asInstanceOf[AnyRef], price.asInstanceOf[AnyRef]) // 啊!
```

为了避免这个麻烦，你也可以用String类的format方法：

```
out.print("%6d %10.2f".format(quantity, price))
```

102

说明： Console类的printf没有这个问题，你可以用

```
printf("%6d %10.2f", quantity, price)
```

来输出消息到控制台。

9.7 访问目录

目前Scala并没有“正式的”用来访问某个目录中的所有文件，或者递归地遍历所有目录的类。在本节中，我们将探讨一些替代方案。

说明： 之前有个版本的Scala有File和Directory类。你仍然可以在scala-compiler.jar的scala.tools.nsc.io包中找到它们。

编写产出遍历某目录下所有子目录的函数并不复杂：

```
import java.io.File
def subdirs(dir: File): Iterator[File] = {
  val children = dir.listFiles.filter(_.isDirectory)
  children.toIterator ++ children.toIterator.flatMap(subdirs _)
}
```

利用这个函数，你可以像这样访问所有的子目录：

```
for (d <- subdirs(dir)) 处理 d
```

或者，如果你用的是Java 7，你也可以使用java.nio.file.Files类的walkFileTree方法。该类用到了FileVisitor接口。在Scala中，我们通常喜欢用函数对象来指定工作内容，而不是接口（虽然在本例中接口可以有更细粒度的控制——更多细节参见Javadoc）。以下隐式转换让函数可以与接口相匹配：

```
import java.nio.file._
implicit def makeFileVisitor(f: (Path) => Unit) = new SimpleFileVisitor[Path] {
  override def visitFile(p: Path, attrs: attribute.BasicFileAttributes) = {
    f(p)
    FileVisitResult.CONTINUE
  }
}
```

103

这样一来，你就可以通过以下调用来打印出所有的子目录了：

```
Files.walkFileTree(dir.toPath, (f: Path) => println(f))
```

当然，如果你不仅仅是想要打印出这些文件，则也可以在传入walkFileTree方法的函数中指定其他要执行的动作。

9.8 序列化

在Java中，我们用序列化来将对象传输到其他虚拟机，或临时存储。（对于长期存储而言，序列化可能会比较笨拙——随着类的演进更新，处理不同版本间的对象是很烦琐的一件事。）

以下是如何在Java和Scala中声明一个可被序列化的类。

Java：

```
public class Person implements java.io.Serializable {
  private static final long serialVersionUID = 42L;
  ...
}
```

Scala：

```
@SerialVersionUID(42L) class Person extends Serializable
```

Serializable特质定义在scala包，因此不需要显式引入。

说明：如果你能接受缺省的ID，也可略去@SerialVersionUID注解。

你可以按照常规的方式对对象进行序列化和反序列化：

```
val fred = new Person(...)
import java.io._
val out = new ObjectOutputStream(new FileOutputStream("/tmp/test.obj"))
out.writeObject(fred)
out.close()
val in = new ObjectInputStream(new FileInputStream("/tmp/test.obj"))
val savedFred = in.readObject().asInstanceOf[Person]
```

Scala集合类都是可序列化的，因此你可以把它们用做你的可序列化类的成员：

```
class Person extends Serializable {
  private val friends = new ArrayBuffer[Person] // OK——ArrayBuffer是可序列化的
  ...
}
```

104

9.9 进程控制 A2

按照传统习惯，程序员使用shell脚本来执行日常处理任务，比如把文件从一处移动到另一处，或者将一组文件拼接在一起。shell语言使得我们可以很容易地指定所需要的文件子集，以及将某个程序的输出以管道方式作为另一个程序的输入。话虽如此，从编程语言的角度看，大多数shell语言并不是那么完美。

Scala的设计目标之一就是能在简单的脚本化任务和大型程序之间保持良好的伸缩性。scala.sys.process包提供了用于与shell程序交互的工具。你可以用Scala编写shell脚本，利用Scala提供的所有威力。

如下是一个简单的示例：

```
import sys.process._
"ls -al .." !
```

这样做的结果是，ls -al .. 命令被执行，显示上层目录的所有文件。执行结果被打印到标准输出。

sys.process包包含了一个从字符串到ProcessBuilder对象的隐式转换。!操作符执行的就是这个ProcessBuilder对象。

!操作符返回的结果是被执行程序的返回值：程序成功执行的话就是0，否则就是显

示错误的非0值。

如果你使用!!而不是!的话，输出会以字符串的形式返回：

```
val result = "ls -al .." !!
```

你还可以将一个程序的输出以管道形式作为输入传送到另一个程序，用#|操作符：

```
"ls -al .." #| "grep sec" !
```

说明：正如你看到的，进程类库使用的是底层操作系统的命令。在本例中，我用的是bash命令，因为bash在Linux、Mac OS X和Windows中都能找到。

要把输出重定向到文件，使用#>操作符：

```
"ls -al .." #> new File("output.txt") !
```

要追加到文件末尾而不是从头覆盖的话，使用#>>操作符：

```
"ls -al .." #>> new File("output.txt") !
```

要把某个文件的内容作为输入，使用#<：

105

```
"grep sec" #< new File("output.txt") !
```

你还可以从URL重定向输入：

```
"grep Scala" #< new URL("http://horstmann.com/index.html") !
```

你可以将进程结合在一起使用，比如p #&& q（如果p成功，则执行q）以及p #|| q（如果p不成功，则执行q）。不过Scala可比shell的流转控制强多了，干吗不用Scala实现流转控制呢？

说明：进程库使用人们熟悉的shell操作符 | > >> < && ||，只不过给它们加上了#前缀，因此它们的优先级是相同的。

如果你需要在不同的目录下运行进程，或者使用不同的环境变量，用Process对象的apply方法来构造ProcessBuilder，给出命令和起始目录，以及一串（名称，值）对偶来设置环境变量：

```
val p = Process(cmd, new File(dirName), ("LANG", "en_US"))
```

然后用!操作符执行它：

```
"echo 42" #| p !
```

9.10 正则表达式

当你在处理输入的时候，你经常会想要用正则表达式来分析它。scala.util.matching.Regex类让这件事情变得简单。要构造一个Regex对象，用String类的r方法即可：

```
val numPattern = "[0-9]+".r
```

如果正则表达式包含反斜杠或引号的话，那么最好使用“原始”字符串语法"""..."""。例如：

```
val wsnumwsPattern = """\s+[0-9]+\s+""".r
  // 和"\\s+[0-9]+\\s+".r相比要更易读一些
```

findAllIn方法返回遍历所有匹配项的迭代器。你可以在for循环中使用它：

```
for (matchString <- numPattern.findAllIn("99 bottles, 98 bottles"))
  处理 matchString
```

或者将迭代器转成数组：

```
val matches = numPattern.findAllIn("99 bottles, 98 bottles").toArray
  // Array(99, 98)
```

要找到字符串中的首个匹配项，可使用findFirstIn。你得到的结果是一个Option[String]。（Option类的内容参见第14章。）

106

```
val m1 = wsnumwsPattern.findFirstIn("99 bottles, 98 bottles")
  // Some(" 98 ")
```

要检查是否某个字符串的开始部分能匹配，可用findPrefixOf：

```
numPattern.findPrefixOf("99 bottles, 98 bottles")
  // Some(99)
wsnumwsPattern.findPrefixOf("99 bottles, 98 bottles")
  // None
```

你可以替换首个匹配项，或全部匹配项：

```
numPattern.replaceFirstIn("99 bottles, 98 bottles", "XX")
  // "XX bottles, 98 bottles"
numPattern.replaceAllIn("99 bottles, 98 bottles", "XX")
  // "XX bottles, XX bottles"
```

9.11 正则表达式组

分组可以让我们方便地获取正则表达式的子表达式。在你想要提取的子表达式两侧加上圆括号，例如：

```
val numitemPattern = "([0-9]+) ([a-z]+)".r
```

要匹配组，可以把正则表达式对象当做“提取器”（参见第14章）使用，就像这样：

```
val numitemPattern(num, item) = "99 bottles"
  // 将num设为"99"，item设为"bottles"
```

如果你想要从多个匹配项中提取分组内容，可以像这样使用for语句：

```
for (numitemPattern(num, item) <- numitemPattern.findAllIn("99 bottles, 98 bottles"))
  处理 num 和 item
```

练习

1. 编写一小段Scala代码，将某个文件中的行倒转顺序（将最后一行作为第一行，依此类推）。
2. 编写Scala程序，从一个带有制表符的文件读取内容，将每个制表符替换成一组空格，使得制表符隔开的*n*列仍然保持纵向对齐，并将结果写入同一个文件。
3. 编写一小段Scala代码，从一个文件读取内容并把所有字符数大于12的单词打印到控制台。如果你能用单行代码完成会有额外奖励。
4. 编写Scala程序，从包含浮点数的文本文件读取内容，打印出文件中所有浮点数之和、平均值、最大值和最小值。

5. 编写Scala程序，向文件中写入2的*n*次方及其倒数，指数*n*从0到20。对齐各列：

```
1           1
2           0.5
4           0.25
...         ...
```

6. 编写正则表达式，匹配Java或C++程序代码中类似"like this, maybe with \" or \\" 这样的带引号的字符串。编写Scala程序将某个源文件中所有类似的字符串打印出来。
7. 编写Scala程序，从文本文件读取内容，并打印出所有非浮点数的词法单元。要求使用正则表达式。
8. 编写Scala程序，打印出某个网页中所有img标签的src属性。使用正则表达式和分组。
9. 编写Scala程序，盘点给定目录及其子目录中总共有多少以.class为扩展名的文件。
10. 扩展那个可序列化的Person类，让它能以一个集合保存某个人的朋友信息。构造出一些Person对象，让他们中的一些人成为朋友，然后将Array[Person]保存到文件。将这个数组从文件中重新读出来，校验朋友关系是否完好。

108

第10章　特　　质

本章的主题 L1

- 10.1　为什么没有多重继承——第117页
- 10.2　当做接口使用的特质——第119页
- 10.3　带有具体实现的特质——第120页
- 10.4　带有特质的对象——第121页
- 10.5　叠加在一起的特质——第122页
- 10.6　在特质中重写抽象方法——第124页
- 10.7　当做富接口使用的特质——第124页
- 10.8　特质中的具体字段——第125页
- 10.9　特质中的抽象字段——第126页
- 10.10 特质构造顺序——第127页
- 10.11 初始化特质中的字段——第129页
- 10.12 扩展类的特质——第131页
- 10.13 自身类型 L2 ——第132页
- 10.14 背后发生了什么——第133页
- 练习——第135页

Chapter 10

在本章中，你将学习如何使用特质。一个类扩展自一个或多个特质，以便使用这些特质提供的服务。特质可能会要求使用它的类支持某个特定的特性。不过，和Java接口不同，Scala特质可以给出这些特性的缺省实现，因此，与接口相比，特质要有用得多。

本章的要点如下：

- 类可以实现任意数量的特质。
- 特质可以要求实现它们的类具备特定的字段、方法或超类。
- 和Java接口不同，Scala特质可以提供方法和字段的实现。
- 当你将多个特质叠加在一起时，顺序很重要——其方法先被执行的特质排在更后面。

10.1 为什么没有多重继承

Scala和Java一样不允许类从多个超类继承。一开始，这听上去像是个很不幸的局限。为什么类就不能从多个类进行扩展呢？某些编程语言，特别是C++，允许多重继承——但代价也是出人意料的高。

如果你只是要把毫不相干的类组装在一起，多重继承没什么问题。但如果这些类

具备某些共通的方法或字段，麻烦就来了。这里有个典型的示例。某助教既是学生也是员工：

```
class Student {
  def id: String = ...
  ...
}

class Employee {
  def id: String = ...
  ...
}
```

假定我们可以有：

```
class TeachingAssistant extends Student, Employee { // 并非实际的Scala代码
  ...
}
```

很不走运，这个TeachingAssistant类继承了两个id方法。myTA.id应该返回什么呢？学生ID？员工ID？都返回？（在C++中，你需要重新定义id方法以澄清你的意图。）

接下来，假定Student和Employec都扩展自同一个超类Person：

```
class Person {
  var name: String = _
}

class Student extends Person { ... }
class Employee extends Person { ... }
```

这就引出了*菱形继承*问题（参见图10-1）。在TeachingAssistant中我们只想要一个name字段，而不是两个。这两个字段如何能并到一起呢？又如何被构造呢？在C++中，你需要用“虚拟基类”，一个复杂而脆弱的特性，来解决该问题。

Java的设计者们对这些复杂性心生畏惧，采取了非常强的限制策略。类只能扩展自一个超类；它可以实现任意数量的*接口*，但接口只能包含抽象方法，不能包含字段。

你通常想要调用其他方法来实现某些方法，但在Java接口中，你做不到。因此在Java中我们经常看到同时提供接口和抽象基类的做法，但这样做治标不治本。如果你想

要同时扩展这两个抽象基类呢? 〈112〉

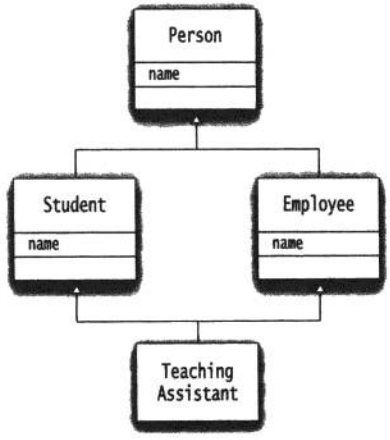


图10-1 菱形继承必须合并共通的字段

Scala提供“特质”而非接口。特质可以同时拥有抽象方法和具体方法，而类可以实现多个特质。这个设计干净利落地解决了Java接口的问题。在本章后续部分你将会看到Scala是如何处理存在冲突的方法和字段的。

10.2 当做接口使用的特质

让我们从熟悉的内容开始。Scala特质完全可以像Java的接口那样工作。例如：

```
trait Logger {
  def log(msg: String) // 这是个抽象方法
}
```

注意，你不需要将方法声明为abstract——特质中未被实现的方法默认就是抽象的。

子类可以给出实现：

```
class ConsoleLogger extends Logger { // 用extends，而不是implements
  def log(msg: String) { println(msg) } // 不需要写override
}
```

113 在重写特质的抽象方法时不需要给出override关键字。

说明： Scala并没有一个特殊的关键字用来标记对特质的实现。通观本章，你会看到，比起Java接口，特质跟类更为相像。

如果你需要的特质不止一个，可以用with关键字来添加额外的特质：

```
class ConsoleLogger extends Logger with Cloneable with Serializable
```

在这里我们用了Java类库的Cloneable和Serializable接口，仅仅是为了展示语法的需要。所有Java接口都可以作为Scala特质使用。

和Java一样，Scala类只能有一个超类，但可以有任意数量的特质。

说明： 在第一个特质前使用extends但是在所有其他特质前使用with看上去可能有些奇怪，但Scala并不是这样来解读的。在Scala中，Logger with Cloneable with Serializable首先是一个整体，然后再由类来扩展。

10.3 带有具体实现的特质

在Scala中，特质中的方法并不需要一定是抽象的。举例来说，我们可以把我们的ConsoleLogger变成一个特质：

```
trait ConsoleLogger {
  def log(msg: String) { println(msg) }
}
```

ConsoleLogger特质提供了一个带有实现的方法——在本例中，该方法将日志信息打印到控制台。

以下是如何使用这个特质的示例：

```
class SavingsAccount extends Account with ConsoleLogger {
  def withdraw(amount: Double) {
    if (amount > balance) log("Insufficient funds")
    else balance -= amount
  }
```

```
  ...
}
```

注意Scala和Java的区别。SavingsAccount从ConsoleLogger特质得到了一个具体的log方法实现。用Java接口的话，这是不可能做到的。

在Scala（以及其他允许我们这样做的编程语言）中，我们说ConsoleLogger的功能被“混入”了SavingsAccount类。

114

说明：恐怕，“混入”这个提法和冰淇淋有关。在冰淇淋语里，“混入”指的是在交给顾客之前，往冰淇淋球中揉进去的一些添加物——至于这样做是美味还是恶心，见仁见智吧。

注意：让特质拥有具体行为存在一个弊端。当特质改变时，所有混入了该特质的类都必须重新编译。

10.4 带有特质的对象

在构造单个对象时，你可以为它添加特质。作为示例，我们用标准Scala库中的Logged特质。它和我们的Logger很像，但它自带的是一个什么都不做的实现：

```
trait Logged {
  def log(msg: String) { }
}
```

让我们在类定义中使用这个特质：

```
class SavingsAccount extends Account with Logged {
  def withdraw(amount: Double) {
    if (amount > balance) log("Insufficient funds")
    else ...
  }
  ...
}
```

现在，什么都不会被记录到日志，看上去似乎毫无意义。但是你可以在构造具

体对象的时候“混入”一个更好的日志记录器的实现。标准的ConsoleLogger扩展自Logged特质：

```
trait ConsoleLogger extends Logged {
  override def log(msg: String) { println(msg) }
}
```

你可以在构造对象的时候加入这个特质：

```
val acct = new SavingsAccount with ConsoleLogger
```

当我们在acct对象上调用log方法时，ConsoleLogger特质的log方法就会被执行。

当然了，另一个对象可以加入不同的特质：

115

```
val acct2 = new SavingsAccount with FileLogger
```

10.5 叠加在一起的特质

你可以为类或对象添加多个互相调用的特质，从最后一个开始。这对于需要分阶段加工处理某个值的场景很有用。

以下是一个简单示例。我们可能想给所有日志消息添加时间戳：

```
trait TimestampLogger extends Logged {
  override def log(msg: String) {
    super.log(new java.util.Date() + " " + msg)
  }
}
```

同样地，假定我们想要截断过于冗长的日志消息：

```
trait ShortLogger extends Logged {
  val maxLength = 15 // 关于特质中的字段，参见10.8节
  override def log(msg: String) {
    super.log(
      if (msg.length <= maxLength) msg else msg.substring(0, maxLength - 3) +
"...")
  }
}
```

注意上述log方法每一个都将修改过的消息传递给super.log。

对特质而言，super.log并不像类那样拥有相同的含义。（如果真有相同的含义，那么这些特质就毫无用处——它们扩展自Logged，其log方法什么也不做。）

实际上，super.log调用的是特质层级中的下一个特质，具体是哪一个，要根据特质添加的顺序来决定。一般来说，特质从最后一个开始被处理。（参见10.10节，那里会介绍当所有用到的特质组成一棵任意形态的树/图，而不是简单的链时，那些血淋淋的细节。）

要搞明白为什么顺序是重要的，比对如下两个示例：

```
val acct1 = new SavingsAccount with ConsoleLogger with
  TimestampLogger with ShortLogger
val acct2 = new SavingsAccount with ConsoleLogger with
  ShortLogger with TimestampLogger
```

如果我们从acct1取款，我们将得到这样一条消息：

```
Sun Feb 06 17:45:45 ICT 2011 Insufficient...
```

正如你看到的那样，ShortLogger的log方法首先被执行，然后它的super.log调用的是TimestampLogger。

但是，从acct2取款时输出的是：

```
Sun Feb 06 1...
```

116

这里，TimestampLogger在特质列表中最后出现。其log方法首先被调用，其结果在之后被截断。

说明：对特质而言，你无法从源码判断super.*someMethod*会执行哪里的方法。确切的方法依赖于使用这些特质的对象或类给出的顺序。这使得super相比在传统的继承关系中要灵活得多。

提示：如果你需要控制具体是哪一个特质的方法被调用，则可以在方括号中给出名称：super[ConsoleLogger].log(...)。这里给出的类型必须是直接超类型；你无法使用继承层级中更远的特质或类。

10.6 在特质中重写抽象方法

让我们回到我们自己的Logger特质，在那里我们并没有提供log方法的实现。

```
trait Logger {
  def log(msg: String) // 这是个抽象方法
}
```

现在，让我们用时间戳特质来扩展它，就像前一节中的示例那样。很不幸，TimestampLogger类不能编译了。

```
trait TimestampLogger extends Logger {
  override def log(msg: String) { // 重写抽象方法
    super.log(new java.util.Date() + " " + msg) // super.log定义了吗?
  }
}
```

编译器将super.log调用标记为错误。

根据正常的继承规则，这个调用永远都是错的——Logger.log方法没有实现。但实际上，就像你在前一节看到的，我们没法知道哪个log方法最终被调用——这取决于特质被混入的顺序。

Scala认为TimestampLogger依旧是抽象的——它需要混入一个具体的log方法。因此你必须给方法打上abstract关键字以及override关键字，就像这样：

```
abstract override def log(msg: String) {
  super.log(new java.util.Date() + " " + msg)
}
```

117

10.7 当做富接口使用的特质

特质可以包含大量工具方法，而这些工具方法可以依赖一些抽象方法来实现。例如Scala的Iterator特质就利用抽象的next和hasNext定义了几十个方法。

让我们来丰富一下我们功能少得可怜的日志API吧。通常，日志API允许你为每一个日志消息指定一个级别以区分信息类的消息和警告、错误等。我们可以很容易地添加这个功能而不规定日志消息要记录到哪里去。

```
trait Logger {
  def log(msg: String)
  def info(msg: String) { log("INFO: " + msg) }
  def warn(msg: String) { log("WARN: " + msg) }
  def severe(msg: String) { log("SEVERE: " + msg) }
}
```

注意我们是怎样把抽象方法和具体方法结合在一起的。

这样一来，使用Logger特质的类就可以任意调用这些日志消息方法了，例如：

```
class SavingsAccount extends Account with Logger {
  def withdraw(amount: Double) {
    if (amount > balance) severe("Insufficient funds")
    else ...
  }
  ...
  override def log(msg: String) { println(msg); }
}
```

在Scala中像这样在特质中使用具体和抽象方法十分普遍。在Java中，你就需要声明一个接口和一个额外的扩展该接口的类（比如Collection/AbstractCollection或MouseListener/MouseAdapter）。

10.8 特质中的具体字段

特质中的字段可以是具体的，也可以是抽象的。如果你给出了初始值，那么字段就是具体的。

```
trait ShortLogger extends Logged {
  val maxLength = 15 // 具体的字段
  ...
}
```

混入该特质的类自动获得一个maxLength字段。通常，对于特质中的每一个具体字段，使用该特质的类都会获得一个字段与之对应。这些字段不是被继承的；它们只是简单地被加到了子类当中。这看上去像是一个很细微的差别，但这个区别很重要。让

118

我们把这个过程看得更仔细些。

```
class SavingsAccount extends Account with ConsoleLogger with ShortLogger {
  var interest = 0.0
  def withdraw(amount: Double) {
    if (amount > balance) log("Insufficient funds")
    else ...
  }
}
```

注意我们的子类有一个字段interest。这是子类中一个普普通通的字段。

假定Account也有一个字段。

```
class Account {
  var balance = 0.0
}
```

SavingsAccount类按正常的方式继承了这个字段。SavingsAccount对象由所有超类的字段，以及任何子类中定义的字段构成。你可以这样来看待SavingsAccount对象：它“首先是”一个超类对象（参见图10-2）。

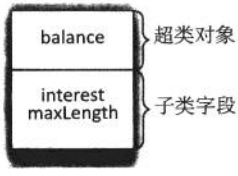


图10-2 来自特质的字段被放置在子类中

在JVM中，一个类只能扩展一个超类，因此来自特质的字段不能以相同的方式继承。由于这个限制，maxLength被直接加到了SavingsAccount类中，跟interest字段排在一起。

你可以把具体的特质字段当做是针对使用该特质的类的“装配指令”。任何通过这种方式被混入的字段都自动成为该类自己的字段。

10.9 特质中的抽象字段

特质中未被初始化的字段在具体的子类中必须被重写。

119

举例来说，如下maxLength字段是抽象的：

```
trait ShortLogger extends Logged {
  val maxLength: Int // 抽象字段
  override def log(msg: String) {
    super.log(
      if (msg.length <= maxLength) msg else msg.substring(0, maxLength -
3) + "...")
      // 在这个实现中用到了maxLength字段
  }
  ...
}
```

当你在一个具体的类中使用该特质时，你必须提供maxLength字段：

```
class SavingsAccount extends Account with ConsoleLogger with ShortLogger {
  val maxLength = 20 // 不需要写override
  ...
}
```

这样一来，所有日志消息都将在第20个字符处被截断。

这种提供特质参数值的方式在你临时要构造某种对象时尤为便利。我们回到最初的储蓄账户：

```
class SavingsAccount extends Account with Logged { ... }
```

现在，在如下这样的一个实例中，我们也可以截断日志消息了：

```
val acct = new SavingsAccount with ConsoleLogger with ShortLogger {
  val maxLength = 20
}
```

10.10 特质构造顺序

和类一样，特质也可以有构造器，由字段的初始化和其他特质体中的语句构成。例如：

```
trait FileLogger extends Logger {
  val out = new PrintWriter("app.log") // 这是特质构造器的一部分
```

```
    out.println("# " + new Date().toString) // 同样是特质构造器的一部分

    def log(msg: String) { out.println(msg); out.flush() }
}
```

这些语句在任何混入该特质的对象在构造时都会被执行。

构造器以如下顺序执行：

120

- 首先调用超类的构造器。
- 特质构造器在超类构造器之后、类构造器之前执行。
- 特质由左到右被构造。
- 每个特质当中，父特质先被构造。
- 如果多个特质共有一个父特质，而那个父特质已经被构造，则不会被再次构造。
- 所有特质构造完毕，子类被构造。

举例来说，考虑如下这样一个类：

```
class SavingsAccount extends Account with FileLogger with ShortLogger
```

构造器将按照如下的顺序执行：

1. Account（超类）。
2. Logger（第一个特质的父特质）。
3. FileLogger（第一个特质）。
4. ShortLogger（第二个特质）。注意它的父特质Logger已被构造。
5. SavingsAccount（类）。

说明：构造器的顺序是类的线性化的反向。

线性化是描述某个类型的所有超类型的一种技术规格，按照以下规则定义：

如果 C extends C_1 with C_2 with ... with C_n，则 $lin(C) = C \gg lin(C_n) \gg \ldots \gg lin(C_2) \gg lin(C_1)$

在这里，»的意思是“串接并去掉重复项，右侧胜出”。例如：

```
lin(SavingsAccount)
= SavingsAccount » lin(ShortLogger) » lin(FileLogger) » lin(Account)
```

```
= SavingsAccount » (ShortLogger » Logger) » (FileLogger » Logger) » lin(Account)
= SavingsAccount » ShortLogger » FileLogger » Logger » Account
```

（简单起见，我略去了如下这些位于任何线性化末端的类型：ScalaObject、AnyRef和Any。）

线性化给出了在特质中super被解析的顺序。举例来说，在ShortLogger中调用super会执行FileLogger的方法，而在FileLogger中调用super会执行Logger的方法。

121

10.11 初始化特质中的字段

特质不能有构造器参数。每个特质都有一个无参数的构造器。

说明：有意思的是，缺少构造器参数是特质与类之间**唯一的**技术差别。除此之外，特质可以具备类的所有特性，比如具体的和抽象的字段，以及超类。

这个局限对于那些需要某种定制才有用的特质来说会是一个问题。考虑一个文件日志生成器。我们想要指定日志文件，但又不能用构造参数：

```
val acct = new SavingsAccount with FileLogger("myapp.log")
  // 错误：特质不能使用构造器参数
```

在前一节，你看到了一个可行的方案。FileLogger可以有一个抽象的字段用来存放文件名。

```
trait FileLogger extends Logger {
  val filename: String
  val out = new PrintStream(filename)
  def log(msg: String) { out.println(msg); out.flush() }
}
```

使用该特质的类可以重写filename字段。不过很可惜，这里有一个陷阱。像这样直截了当的方案并不可行：

```
val acct = new SavingsAccount with FileLogger {
```

```
    val filename = "myapp.log" // 这样行不通
}
```

问题出在构造顺序上。FileLogger构造器先于子类构造器执行。这里的子类并不那么容易看得清楚：new语句构造的其实是一个扩展自SavingsAccount（超类）并混入了FileLogger特质的匿名类的实例。filename的初始化只发生在这个匿名子类中。实际上，它根本不会发生——在轮到子类之前，FileLogger的构造器就会抛出一个空指针异常。

解决办法之一是我们在第8章介绍过的一个很隐晦的特性：提前定义。以下是正确的版本：

```
val acct = new { // new之后的提前定义块
  val filename = "myapp.log"
} with SavingsAccount with FileLogger
```

122

这段代码并不漂亮，但它解决了我们的问题。提前定义发生在常规的构造序列之前。在FileLogger被构造时，filename已经是初始化过的了。

如果你需要在类中做同样的事情，语法会像如下这个样子：

```
class SavingsAccount extends { // extends后是提前定义块
  val filename = "savings.log"
} with Account with FileLogger {
  ... // SavingsAccount的实现
}
```

另一个解决办法是在FileLogger构造器中使用懒值，就像这样：

```
trait FileLogger extends Logger {
  val filename: String
  lazy val out = new PrintStream(filename)
  def log(msg: String) { out.println(msg) } // 不需要写override
}
```

如此一来，out字段将在初次被使用时才会初始化。而在那个时候，filename字段应该已经被设好值了。不过，由于懒值在每次使用前都会检查是否已经初始化，它们用起来并不是那么高效。

10.12 扩展类的特质

正如你所看到的，特质可以扩展另一个特质，而由特质组成的继承层级也很常见。不那么常见的一种用法是，特质也可以扩展类。这个类将会自动成为所有混入该特质的超类。

以下是一个示例。LoggedException特质扩展自Exception类：

```
trait LoggedException extends Exception with Logged {
  def log() { log(getMessage()) }
}
```

LoggedException有一个log方法用来记录异常的消息。注意log方法调用了从Exception超类继承下来的getMessage()方法。

现在让我们创建一个混入该特质的类：

```
class UnhappyException extends LoggedException { // 该类扩展自一个特质
  override def getMessage() = "arggh!"
}
```

特质的超类也自动地成为我们的类的超类（参见图10-3）。 123

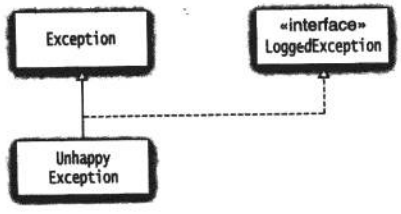


图10-3 特质的超类自动成为任何混入该特质的类的超类

如果我们的类已经扩展了另一个类怎么办？没关系，只要那是特质的超类的一个子类即可。例如：

```
class UnhappyException extends IOException with LoggedException
```

这里的UnhappyException扩展自IOException，而这个IOException已经是扩展自Exception了。混入特质时，它的超类已经在那里了，因此不需要额外再添加。

不过，如果我们的类扩展自一个不相关的类，那么就不可能混入这个特质了。举

例来说，你不能构建出如下这样的类：

```
class UnhappyFrame extends JFrame with LoggedException
  // 错误：不相关的超类
```

我们无法同时将JFrame和Exception作为超类。

10.13 自身类型 L2

当特质扩展类时，编译器能够确保的一件事是所有混入该特质的类都认这个类作超类。Scala还有另一套机制可以保证这一点：*自身类型*（self type）。

当特质以如下代码开始定义时

```
this: 类型 =>
```

它便只能被混入指定类型的子类。

接下来给我们的LoggedException用上这个特性吧：

```
trait LoggedException extends Logged {
  this: Exception =>
    def log() { log(getMessage()) }
}
```

注意该特质并不扩展Exception类，而是有一个自身类型Exception。这意味着，它只能被混入Exception的子类。

124

在特质的方法中，我们可以调用该自身类型的任何方法。举例来说，log方法中的getMessage()调用就是合法的，因为我们知道this必定是一个Exception。

如果你想把这个特质混入一个不符合自身类型要求的类，就会报错。

```
val f = new JFrame with LoggedException
  // 错误：JFrame不是Exception的子类型，而Exception是LoggedException的自身类型
```

带有自身类型的特质和带有超类型的特质很相似。两种情况都能确保混入该特质的类能够使用某个特定类型的特性。

在某些情况下自身类型这种写法比超类型版的特质更灵活。自身类型可以解决特质间的循环依赖。如果你有两个彼此需要的特质时循环依赖就会产生。

自身类型也同样可以处理*结构类型*（structural type）——这种类型只给出类必须拥

有的方法，而不是类的名称。以下是使用结构类型的LoggedException定义：

```
trait LoggedException extends Logged {
  this: { def getMessage(): String } =>
    def log() { log(getMessage()) }
}
```

这个特质可以被混入任何拥有getMessage方法的类。

我们将在第18章详细介绍自身类型和结构类型。

10.14 背后发生了什么

Scala需要将特质翻译成JVM的类和接口。你不需要知道是如何做到的，但了解背后的原理对于理解特质会有帮助。

只有抽象方法的特质被简单地变成一个Java接口。例如：

```
trait Logger {
  def log(msg: String)
}
```

直接被翻译成

```
public interface Logger { // 生成的Java接口
  void log(String msg);
}
```

如果特质有具体的方法，Scala会帮我们创建出一个伴生类，该伴生类用静态方法存放特质的方法。例如：

125

```
trait ConsoleLogger extends Logger {
  def log(msg: String) { println(msg) }
}
```

被翻译成

```
public interface ConsoleLogger extends Logger { // 生成的Java接口
  void log(String msg);
}
```

```
public class ConsoleLogger$class { // 生成的Java伴生类
  public static void log(ConsoleLogger self, String msg) {
    println(msg);
  }
  ...
}
```

这些伴生类不会有任何字段。特质中的字段对应到接口中的抽象的getter和setter方法。当某个类实现该特质时，字段被自动加入。

例如：

```
trait ShortLogger extends Logger {
  val maxLength = 15 // 具体的字段
  ...
}
```

被翻译成

```
public interface ShortLogger extends Logger {
  public abstract int maxLength();
  public abstract void weird_prefix$maxLength_$eq(int);
  ...
}
```

这里以weird开头的setter方法是需要的，用来初始化该字段。初始化发生在伴生类的一个初始化方法内：

```
public class ShortLogger$class {
  public void $init$(ShortLogger self) {
    self.weird_prefix$maxLength_$eq(15)
  }
  ...
}
```

当特质被混入类的时候，类将会得到一个带有getter和setter的maxLength字段。那个类的构造器会调用初始化方法。

如果特质扩展自某个超类，则伴生类并不继承这个超类。该超类会被任何实现该特质的类继承。

练习

1. java.awt.Rectangle类有两个很有用的方法translate和grow，但可惜的是像java.awt.geom.Ellipse2D这样的类中没有。在Scala中，你可以解决掉这个问题。定义一个RectangleLike特质，加入具体的translate和grow方法。提供任何你需要用来实现的抽象方法，以便你可以像如下代码这样混入该特质：

```
val egg = new java.awt.geom.Ellipse2D.Double(5, 10, 20, 30) with RectangleLike
egg.translate(10, -10)
egg.grow(10, 20)
```

2. 通过把scala.math.Ordered[Point]混入java.awt.Point的方式，定义OrderedPoint类。按辞典编辑方式排序，也就是说，如果 $x < x'$ 或者 $x = x'$ 且 $y < y'$ 则 $(x, y) < (x', y')$。
3. 查看BitSet类，将它的所有超类和特质绘制成一张图。忽略类型参数（[...]中的所有内容）。然后给出该特质的线性化规格说明。
4. 提供一个CryptoLogger类，将日志消息以凯撒密码加密。缺省情况下密钥为3，不过使用者也可以重写它。提供缺省密钥和-3作为密钥时的使用示例。
5. JavaBeans规范里有一种提法叫做属性变更监听器（property change listener），这是bean用来通知其属性变更的标准方式。PropertyChangeSupport类对于任何想要支持属性变更监听器的bean而言是个便捷的超类。但可惜已有其他超类的类——比如JComponent——必须重新实现相应的方法。将PropertyChangeSupport重新实现为一个特质，然后把它混入到java.awt.Point类中。
6. 在Java AWT类库中，我们有一个Container类，一个可以用于各种组件的Component子类。举例来说，Button是一个Component，但Panel是Container。这是一个运转中的组合模式。Swing有JComponent和JContainer，但如果你仔细看的话，你会发现一些奇怪的细节。尽管把其他组件添加到比如JButton中毫无意义，JComponent依然扩展自Container。Swing的设计者们理想情况下应该会更倾向于图10-4中的设计。

   但在Java中那是不可能的。请解释这是为什么。Scala中如何用特质来设计出这样的效果呢？

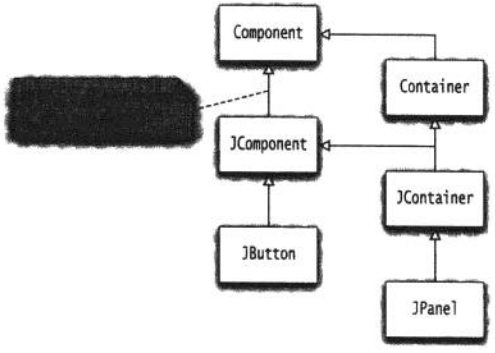


图10–4 一个更好的Swing容器设计

7. 市面上有不下数十种关于Scala特质的教程，用的都是些“在叫的狗”啦，“讲哲学的青蛙”啦之类的傻乎乎的示例。阅读和理解这些机巧的继承层级很乏味且对于理解问题没什么帮助，但自己设计一套继承层级就不同了，会很有启发。做一个你自己的关于特质的继承层级，要求体现出叠加在一起的特质、具体的和抽象的方法，以及具体的和抽象的字段。

127

8. 在java.io类库中，你可以通过BufferedInputStream修饰器来给输入流增加缓冲机制。用特质来重新实现缓冲。简单起见，重写read方法。
9. 使用本章的日志生成器特质，给前一个练习中的方案增加日志功能，要求体现出缓冲的效果。
10. 实现一个IterableInputStream类，扩展java.io.InputStream并混入Iterable[Byte]特质。

128

第11章　操作符

本章的主题 L1

- 11.1　标识符——第139页
- 11.2　中置操作符——第140页
- 11.3　一元操作符——第141页
- 11.4　赋值操作符——第142页
- 11.5　优先级——第142页
- 11.6　结合性——第143页
- 11.7　apply和update方法——第144页
- 11.8　提取器L2——第145页
- 11.9　带单个参数或无参数的提取器L2——第146页
- 11.10 unapplySeq方法L2——第147页
- 练习——第148页

Chapter 11

本章将详细介绍如何实现你自己的操作符——与我们熟悉的数学操作符有着相同语法的方法。操作符通常用来构建领域特定语言——内嵌在Scala中的迷你语言。隐式转换（自动被应用的类型转换）是另一个我们在创建领域特定语言时用到的工具。本章还将介绍apply、update和unapply这些特殊的方法。

本章的要点包括：

- 标识符由字母、数字或运算符构成。
- 一元和二元操作符其实是方法调用。
- 操作符优先级取决于第一个字符，而结合性取决于最后一个字符。
- apply和update方法在对expr(*args*)表达式求值时被调用。
- 提取器从输入中提取元组或值的序列L2。

11.1 标识符

变量、函数、类等的名称统称为标识符。在Scala中，你在选择标识符时相比Java有更多选择。当然了，你完全可以遵照经典的模式：字母和数字字符的序列，以字母或下画线开头，比如fred12或者_Wilma。

和Java一样，你可以使用Unicode字符。例如，José或者σοφός都是合法的标识符。除此之外，你也可以使用任意序列的操作符字符：

- 除字母、数字、下画线、括号()[]{}或分隔符.,;'`"之外的ASCII字符。即如下这些：!#%&*+-/:<=>?@\^|~。
- Unicode的数学符号，或Unicode的Sm和So类别中的其他符号。

举例来说，**和√都是合法的标识符。给定如下定义：

```
val √ = scala.math.sqrt _
```

你就可以用√(2)来计算平方根。这是个不错的主意，前提是在我们的编程环境中要能很容易键入这个符号。

最后，你可以在反引号中包含几乎任何字符序列。例如：

```
val `val` = 42
```

这个示例很糟糕，但反引号有时确实可以成为“逃生舱门”。举例来说，在Scala中，yield是一个保留字，但你可能需要访问Java中一个同样命名的方法。反引号来拯救你：Thread.`yield`()。

11.2 中置操作符

你可以这样写

```
a 标识符 b
```

其中标识符代表一个带有两个参数的方法（一个隐式的参数和一个显式的参数）。例如：

```
1 to 10
```

上述表达式实际上是一个方法调用

```
1.to(10)
```

这样的表达式称做中置（infix）表达式，因为操作符位于两个参数之间。操作符包含字母，就像to，或者也可以包含操作符字符——例如：

```
1 -> 10
```

等同于方法调用

```
1.->(10)
```

132

要在你自己的类中定义操作符很简单，只要以你想要用做操作符的名称来定义一个方法即可。举例来说，这里有一个Fraction类，根据以下法则来计算两个分数的乘积：

$$(n_1 / d_1) \times (n_2 / d_2) = (n_1 n_2 / d_1 d_2)$$

```
class Fraction(n: Int, d: Int) {
  private int num = ...
  private int den = ...
  ...
  def *(other: Fraction) = new Fraction(num * other.num, den * other.den)
}
```

11.3 一元操作符

中置操作符是二元的——它们有两个参数。只有一个参数的操作符称为一元操作符。如果它出现在参数之后，那么它就是一个后置（postfix）操作符。例如：

```
a 标识符
```

上述表达式等同于方法调用a.标识符()。又如：

```
1 toString
```

上述表达式等同于

```
1.toString()
```

如下四个操作符+、-、!、~可以作为前置（prefix）操作符，出现在参数之前。它们被转换成对名为 unary_操作符 的方法调用。例如：

```
-a
```

上面的代码意思和 a.unary_- 一样。

11.4 赋值操作符

赋值操作符的名称形式为操作符=，以下表达式

```
a 操作符= b
```

等同于：

```
a = a 操作符 b
```

举例来说，a += b 等同于 a = a + b。

关于赋值操作符，有一些技术细节要注意。

133

- <=、>=和!=不是赋值操作符。
- 以=开头的操作符不是赋值操作符（==、===、=/=等）。
- 如果a有一个名为操作符=的方法，那么该方法会被直接调用。

11.5 优先级

当你一次性使用两个或更多操作符，又没有给出括号的话，首先执行的是高优先级的操作符。举例来说：

```
1 + 2 * 3
```

上述表达式中被先求值的是*操作符。Java、C++等语言有固定数量的操作符，语言本身规定了哪些操作符的优先级比另一些高。Scala可随意定义操作符，因此它需要用一套优先级判定方案，对所有操作符生效，但同时保留人们所熟悉的标准操作符的优先级顺序。

除赋值操作符外，优先级由操作符的首字符决定。

最高优先级：除以下字符外的操作符字符
* / %
+ -
:
< >
! =
&

（续表）

最高优先级：除以下字符外的操作符字符
^
|
非操作符
最低优先级：赋值操作符

出现在同一行字符所产生的操作符优先级相同。举例来说，+ 和 -> 有着相同的优先级。

后置操作符的优先级低于中置操作符：

```
a 中置操作符 b 后置操作符
```

134

上述代码等同于：

```
(a 中置操作符 b) 后置操作符
```

11.6 结合性

当你有一系列相同优先级的操作符时，操作符的结合性决定了它们是从左到右求值还是从右到左求值。举例来说，表达式 17 - 2 - 9 中，我们的计算方式是 (17 - 2) -9。-操作符是左结合的。

在Scala当中，所有操作符都是左结合的，除了：

- 以冒号（:）结尾的操作符。
- 赋值操作符。

尤其值得一提的是，用于构造列表的::操作符是右结合的。例如：

```
1 :: 2 :: Nil
```

的意思是

```
1 :: (2 :: Nil)
```

本就应该这样——我们首先要创建出包含2的列表，这个列表又被作为尾巴拼到以1作为头部的列表当中。

右结合的二元操作符是其第二个参数的方法。例如：

```
2 :: Nil
```

的意思是

```
Nil.::(2)
```

11.7 apply和update方法

Scala允许你将如下的函数调用语法

```
f(arg1, arg2, ...)
```

扩展到可以应用于函数之外的值。如果f不是函数或方法，那么这个表达式就等同于调用

```
f.apply(arg1, arg2, ...)
```

除非它出现在赋值语句的等号左侧。表达式

```
f(arg1, arg2, ...) = value
```

135 对应如下调用

```
f.update(arg1, arg2, ..., value)
```

这个机制被用于数组和映射。例如：

```
val scores = new scala.collection.mutable.HashMap[String, Int]
scores("Bob") = 100 // 调用scores.update("Bob", 100)
val bobsScore = scores("Bob") // 调用scores.apply("Bob")
```

apply方法同样被经常用在伴生对象中，用来构造对象而不用显式地使用new。举例来说，假定我们有一个Fraction类。

```
class Fraction(n: Int, d: Int) {
  ...
}

object Fraction {
  def apply(n: Int, d: Int) = new Fraction(n, d)
}
```

因为有了这个apply方法，我们就可以用Fraction(3, 4)来构造出一个分数，而不用new Fraction(3, 4)。这听上去很小儿科，但当你有大量Fraction的值要构造时，这个改进还是挺有用的：

```
val result = Fraction(3, 4) * Fraction(2, 5)
```

11.8 提取器 L2

所谓提取器就是一个带有unapply方法的对象。你可以把unapply方法当做是伴生对象中apply方法的反向操作。apply方法接受构造参数，然后将它们变成对象。而unapply方法接受一个对象，然后从中提取值——通常这些值就是当初用来构造该对象的值。

考虑前一节中的Fraction类。apply方法从分子和分母创建出一个分数。而unapply方法则是去取出分子和分母。你可以在变量定义时使用它：

```
var Fraction(a, b) = Fraction(3, 4) * Fraction(2, 5)
  // a和b分别被初始化成运算结果的分子和分母
```

或者用于模式匹配：

```
case Fraction(a, b) => ... // a和b分别被绑到分子和分母
```

（有关模式匹配更详细的内容参见第14章。）

通常而言，模式匹配可能会失败。因此unapply方法返回的是一个Option。它包含一个元组，每个匹配到的变量各有一个值与之对应。在本例中，我们返回一个Option[(Int, Int)]。

136

```
object Fraction {
  def unapply(input: Fraction) =
    if (input.den == 0) None else Some((input.num, input.den))
}
```

只是为了显示这种可能，该方法在分母为0时返回None，表示无匹配。

在前例中，apply和unapply互为反向。但这并不是必需的。你可以用提取器从任何类型的对象中提取信息。

举例来说，假定你想要从字符串中提取名字和姓氏：

```
val author = "Cay Horstmann"
val Name(first, last) = author // 调用Name.unapply(author)
```

提供一个对象Name，其unapply方法返回一个Option[(String , String)]。如果匹配成功，返回名字和姓氏的对偶。该对偶的两个组成部分将会分别绑到模式中的两个变量。如果匹配失败，则返回None。

```
object Name {
  def unapply(input: String) = {
    val pos = input.indexOf(" ")
    if (pos == -1) None
    else Some((input.substring(0, pos), input.substring(pos + 1)))
  }
}
```

说明：在本例中，我们并没有定义Name类。Name对象是针对String对象的一个提取器。

每一个样例类都自动具备apply和unapply方法（我们将在第14章介绍样例类）。举例来说，假定我们有：

```
case class Currency(value: Double, unit: String)
```

你可以这样构造Currency实例：

```
Currency(29.95, "EUR") // 将调用Currency.apply
```

你也可以从Currency对象提取值：

137

```
case Currency(amount, "USD") => println("$" + amount) // 将调用Currency.unapply
```

11.9 带单个参数或无参数的提取器 L2

在Scala中，并没有只带一个组件的元组。如果unapply方法要提取单值，则它应该返回一个目标类型的Option。例如：

```
object Number {
  def unapply(input: String): Option[Int] =
```

```
    try {
      Some(Integer.parseInt(input.trim))
    } catch {
      case ex: NumberFormatException => None
    }
  }
```

用这个提取器，你可以从字符串中提取数字：

```
val Number(n) = "1729"
```

提取器也可以只是测试其输入而并不真的将值提取出来。这样的话，unapply方法应返回Boolean。例如：

```
object IsCompound {
  def unapply(input: String) = input.contains(" ")
}
```

你可以用这个提取器给模式增加一个测试，例如：

```
author match {
  case Name(first, last @ IsCompound()) => ...
    // 如果作者是 Peter van der Linden也能成功匹配
  case Name(first, last) => ...
}
```

11.10 unapplySeq方法 L2

要提取任意长度的值的序列，我们应该用unapplySeq来命名我们的方法。它返回一个Option[Seq[A]]，其中A是被提取的值的类型。举例来说，Name提取器可以产出名字中所有组成部分的序列：

```
object Name {
  def unapplySeq(input: String): Option[Seq[String]] =
    if (input.trim == "") None else Some(input.trim.split("\\s+"))
}
```

这样一来，你就能匹配并取到任意数量的变量了：

138

```
author match {
  case Name(first, last) => ...
  case Name(first, middle, last) => ...
  case Name(first, "van", "der", last) => ...
  ...
}
```

练习

1. 根据优先级规则，3 + 4 -> 5和 3 -> 4 + 5是如何被求值的？
2. BigInt类有一个pow方法，但没有用操作符字符。Scala类库的设计者为什么没有选用**（像Fortran那样）或者^（像Pascal那样）作为乘方操作符呢？
3. 实现Fraction类，支持+ - * /操作。支持约分，例如将15/−6变成−5/2。除以最大公约数，像这样：

```
class Fraction(n: Int, d: Int) {
  private val num: Int = if (d == 0) 1 else n * sign(d) / gcd(n, d);
  private val den: Int = if (d == 0) 0 else d * sign(d) / gcd(n, d);
  override def toString = num + "/" + den
  def sign(a: Int) = if (a > 0) 1 else if (a < 0) -1 else 0
  def gcd(a: Int, b: Int): Int = if (b == 0) abs(a) else gcd(b, a % b)
  ...
}
```

4. 实现一个Money类，加入美元和美分字段。提供+、-操作符以及比较操作符==和<。举例来说，Money(1, 75) + Money(0, 50) == Money(2, 25)应为true。你应该同时提供*和/操作符吗？为什么？
5. 提供操作符用于构造HTML表格。例如：

```
Table() | "Java" | "Scala" || "Gosling" | "Odersky" || "JVM" | "JVM, .NET"
```

应产出

```
<table><tr><td>Java</td><td>Scala</td></tr><tr><td>Gosling...
```

6. 提供一个ASCIIArt类，其对象包含类似这样的图形：

```
 /\_/\
( ' ' )
(  -  )
 | | |
(__|__)
```

提供将两个ASCIIArt图形横向或纵向结合的操作符。选用适当优先级的操作符命名。横向结合的示例：

139

```
 /\_/\      -----
( ' ' )   / Hello \
(  -  ) <  Scala |
 | | |    \ Coder /
(__|__)    -----
```

7. 实现一个BigSequence类，将64个bit的序列打包在一个Long值中。提供apply和update操作来获取和设置某个具体的bit。
8. 提供一个Matrix类——你可以选择需要的是一个2×2的矩阵，任意大小的正方形矩阵，或是$m \times n$的矩阵。支持+和*操作。*操作应同样适用于单值，例如 mat * 2。单个元素可以通过mat(row, col)得到。
9. 为RichFile类定义unapply操作，提取文件路径、名称和扩展名。举例来说，文件/home/cay/readme.txt的路径为/home/cay，名称为readme，扩展名为txt。
10. 为RichFile类定义一个unapplySeq，提取所有路径段。举例来说，对于/home/cay/readme.txt，你应该产出三个路径段的序列：home、cay和readme.txt。

140

第12章　高阶函数

本章的主题 L1

- 12.1　作为值的函数——第151页
- 12.2　匿名函数——第152页
- 12.3　带函数参数的函数——第153页
- 12.4　参数（类型）推断——第154页
- 12.5　一些有用的高阶函数——第155页
- 12.6　闭包——第156页
- 12.7　SAM转换——第157页
- 12.8　柯里化——第158页
- 12.9　控制抽象——第159页
- 12.10 return表达式——第161页
- 练习——第162页

Chapter 12

Scala混合了面向对象和函数式的特性。在函数式编程语言中，函数是“头等公民”，可以像任何其他数据类型一样被传递和操作。每当你想要给算法传入明细动作时这个特性就会变得非常有用。在函数式编程语言中，你只需要将明细动作包在函数当中作为参数传入即可。在本章中，你将会看到如何通过那些使用或返回函数的函数来提高我们的工作效率。

本章的要点包括：

- 在Scala中函数是“头等公民”，就和数字一样。
- 你可以创建匿名函数，通常还会把它们交给其他函数。
- 函数参数可以给出需要稍后执行的行为。
- 许多集合方法都接受函数参数，将函数应用到集合中的值。
- 有很多语法上的简写让你以简短且易读的方式表达函数参数。
- 你可以创建操作代码块的函数，它们看上去就像是内建的控制语句。

12.1 作为值的函数

在Scala中，函数是“头等公民”，就和数字一样。你可以在变量中存放函数：

```
import scala.math._
val num = 3.14
val fun = ceil _
```

这段代码将num设为3.14，fun设为ceil函数。

ceil函数后的_意味着你确实指的是这个函数，而不是碰巧忘记了给它送参数。

说明：从技术上讲，_将ceil*方法*转成了函数。在Scala中，你无法直接操纵方法，而只能直接操纵函数。

当你在REPL中尝试这段代码时，并不意外，num的类型是Double。fun的类型被报告为(Double) => Double，也就是说，接受并返回Double的函数。

你能对函数做些什么呢？两件事：

- 调用它。
- 传递它，存放在变量中，或者作为参数传递给另一个函数。

以下是如何调用存放在fun中的函数：

```
fun(num) // 4.0
```

正如你所看到的，这里用的是普通的函数调用语法。唯一的区别是，fun是一个包含*函数的变量*，而不是一个固定的函数。

以下是如何将fun传递给另一个函数：

```
Array(3.14, 1.42, 2.0).map(fun) // Array(4.0, 2.0, 2.0)
```

map方法接受一个函数参数，将它应用到数组中的所有值，然后返回结果的数组。在本章中，你将会看到许多其他接受函数参数的方法。

12.2 匿名函数

在Scala中，你不需要给每一个函数命名，正如你不需要给每个数字命名一样。以下是一个*匿名函数*：

```
(x: Double) => 3 * x
```

该函数将传给它的参数乘以3。

你当然可以将这个函数存放到变量中：

```
val triple = (x: Double) => 3 * x
```

144

这就跟你用def一样：

```
def triple(x: Double) = 3 * x
```

但是你不需要给函数命名。你可以直接将它传递给另一个函数：

```
Array(3.14, 1.42, 2.0).map((x: Double) => 3 * x)
  // Array(9.42, 4.26, 6.0)
```

在这里，我们告诉map方法：“将每个元素乘以3”。

说明：如果你愿意，也可以将函数参数包在花括号当中而不是用圆括号，例如：

```
Array(3.14, 1.42, 2.0).map{ (x: Double) => 3 * x }
```

在使用中置表示法时（没有句点），这样的写法比较常见。

```
Array(3.14, 1.42, 2.0) map { (x: Double) => 3 * x }
```

12.3 带函数参数的函数

在本节中，你将会看到如何实现接受另一个函数作为参数的函数。以下是一个示例：

```
def valueAtOneQuarter(f: (Double) => Double) = f(0.25)
```

注意，这里的参数可以是任何接受Double并返回Double的函数。valueAtOneQuarter函数将计算那个函数在0.25位置的值。

例如：

```
valueAtOneQuarter(ceil _) // 1.0
valueAtOneQuarter(sqrt _) // 0.5 (因为 0.5 × 0.5 = 0.25)
```

valueAtOneQuarter的类型是什么呢？它是一个带有单个参数的函数，因为它的类型写做：

```
(参数类型) => 结果类型
```

结果类型很显然是Double，而参数类型已经在函数头部以 (Double) => Double给出了。因此，valueAtOneQuarter的类型为：

```
((Double) => Double) => Double
```

由于valueAtOneQuarter是一个接受函数参数的函数，因此它被称做高阶函数（higher-order function）。

高阶函数也可以产出另一个函数。以下是一个简单示例：

```
def mulBy(factor: Double) = (x: Double) => factor * x
```

举例来说，mulBy(3)返回函数(x: Double) => 3 * x，这个函数在前一节你已经见过了。mulBy的威力在于，它可以产出能够乘以任何数额的函数：

145

```
val quintuple = mulBy(5)
quintuple(20) // 100
```

mulBy函数有一个类型为Double的参数，返回一个类型为 (Double) => Double 的函数。因此，它的类型为：

```
(Double) => ((Double) => Double)
```

12.4 参数（类型）推断

当你将一个匿名函数传递给另一个函数或方法时，Scala会尽可能帮助你推断出类型信息。举例来说，你不需要将代码写成：

```
valueAtOneQuarter((x: Double) => 3 * x) // 0.75
```

由于valueAtOneQuarter方法知道你会传入一个类型为 (Double) => Double 的函数，你可以简单地写成：

```
valueAtOneQuarter((x) => 3 * x)
```

作为额外奖励，对于只有一个参数的函数，你可以略去参数外围的()：

```
valueAtOneQuarter(x => 3 * x)
```

这样更好了。如果参数在=>右侧只出现一次，你可以用_替换掉它：

```
valueAtOneQuarter(3 * _)
```

从舒适度上讲，这是终极版本了，并且阅读起来也很容易：一个将某值乘以3的函数。

请注意这些简写方式仅在参数类型已知的情况下有效。

```
val fun = 3 * _ // 错误：无法推断出类型
val fun = 3 * (_: Double) // OK
val fun: (Double) => Double = 3 * _ // OK，因为我们给出了fun的类型
```

当然，最后一个定义很造作。不过它展示了函数是如何被作为参数（刚好是那个类型）传入的。

12.5 一些有用的高阶函数

要熟悉和适应高阶函数，一个不错的途径是练习使用Scala集合库中的一些常用的（且显然很有用的）接受函数参数的方法。

146

你已经见过map方法了，这个方法将一个函数应用到某个集合的所有元素并返回结果。以下是一个快速地产出包含0.1，0.2，…，0.9的集合的方式：

```
(1 to 9).map(0.1 * _)
```

说明：这里有一个通用的原则。如果你要的是一个序列的值，那么想办法从一个简单的序列转化得出。

让我们用它来打印一个三角形：

```
(1 to 9).map("*" * _).foreach(println _)
```

结果是：

```
*
**
***
****
*****
```

```
******
*******
********
*********
```

在这里，我们还用到了foreach，它和map很像，只不过它的函数并不返回任何值。foreach只是简单地将函数应用到每个元素而已。

filter方法输出所有匹配某个特定条件的元素。举例来说，以下是如何得到一个序列中的所有偶数：

```
(1 to 9).filter(_ % 2 == 0) // 2, 4, 6, 8
```

当然，这并不是得到该结果最高效的方式。

reduceLeft方法接受一个二元的函数——即一个带有两个参数的函数——并将它应用到序列中的所有元素，从左到右。例如：

```
(1 to 9).reduceLeft(_ * _)
```

等同于

```
1 * 2 * 3 * 4 * 5 * 6 * 7 * 8 * 9
```

或者，更加严格地说

```
(...((1 * 2) * 3) * ... * 9)
```

147 注意乘法函数的紧凑写法_ * _，每个下画线分别代表一个参数。

你还需要一个二元函数来做排序。例如：

```
"Mary has a little lamb".split(" ").sortWith(_.length < _.length)
```

输出一个按长度递增排序的数组：Array("a", "had", "Mary", "lamb", "little")。

12.6 闭包

在Scala中，你可以在任何作用域内定义函数：包、类甚至是另一个函数或方法。在函数体内，你可以访问到相应作用域内的任何变量。这听上去没什么大不了，但请注意，你的函数可以在变量不再处于作用域内时被调用。

这里有一个示例：12.3节的mulBy函数。

```
def mulBy(factor: Double) = (x: Double) => factor * x
```

考虑如下调用：

```
val triple = mulBy(3)
val half = mulBy(0.5)
println(triple(14) + " " + half(14)) // 将打印 42 7
```

让我们慢动作回放一下：

- mulBy的首次调用将参数变量factor设为3。该变量在(x: Double) => factor * x函数的函数体内被引用，该函数被存入triple。然后参数变量factor从运行时的栈上被弹出。
- 接下来，mulBy再次被调用，这次factor被设为了0.5。该变量在(x: Double) => factor * x函数的函数体内被引用，该函数被存入half。

每一个返回的函数都有自己的factor设置。

这样一个函数被称做闭包（closure）。闭包由代码和代码用到的任何非局部变量定义构成。

这些函数实际上是以类的对象方式实现的，该类有一个实例变量factor和一个包含了函数体的apply方法。

闭包如何实现并不重要。Scala编译器会确保你的函数可以访问非局部变量。

说明：如果闭包是语言中很自然的组成部分，则它们并不会难以理解或让人感到意外。许多现代的语言，比如JavaScript、Ruby和Python都支持闭包。Java是个例外，至少在第7版还不支持。Java 8将会支持一种形式上受限的闭包。

148

12.7 SAM转换

在Scala中，每当你想要告诉另一个函数做某件事时，你都会传一个函数参数给它。Java并不支持函数（至少目前是这样），Java程序员需要付出更多才能达到相同的效果。其通常的做法是将动作放在一个实现某接口的类中，然后将该类的一个实例传递给另一个方法。

在很多时候，这些接口都只有单个抽象方法（single abstract method）。在Java中它

们被称做SAM类型。

举例来说，假定我们想要在按钮被点击时递增一个计数器。

```
var counter = 0

val button = new JButton("Increment")
button.addActionListener(new ActionListener {
  override def actionPerformed(event: ActionEvent) {
    counter += 1
  }
})
```

好多样板代码！如果我们可以只传一个函数给addActionListener就好了，就像这样：

```
button.addActionListener((event: ActionEvent) => counter += 1)
```

为了启用这个语法，你需要提供一个隐式转换。我们将在第21章详细介绍这些转换，不过你并不需要学完所有的细节，也可以很容易地做出一个来。下面这个隐式转换将会把一个函数转换成一个ActionListener的实例：

```
implicit def makeAction(action: (ActionEvent) => Unit) =
  new ActionListener {
    override def actionPerformed(event: ActionEvent) { action(event) }
  }
```

只需要简单地把这个函数和你的界面代码放在一起，你就可以在所有预期ActionListener对象的地方传入任何(ActionEvent) => Unit函数了。

12.8 柯里化

柯里化（currying，以逻辑学家Haskell Brooks Curry的名字命名）指的是将原来接受两个参数的函数变成新的接受一个参数的函数的过程。新的函数返回一个以原有第二个参数作为参数的函数。

嗯？我们来看一个示例吧。如下函数接受两个参数：


```
def mul(x: Int, y: Int) = x * y
```

以下函数接受一个参数，生成另一个接受单个参数的函数：

```
def mulOneAtATime(x: Int) = (y: Int) => x * y
```

要计算两个数的乘积，你需要调用：

```
mulOneAtATime(6)(7)
```

严格地讲，mulOneAtATime(6)的结果是函数 (y: Int) => 6 * y。而这个函数又被应用到7，因此最终得到42。

Scala支持如下简写来定义这样的柯里化函数：

```
def mulOneAtATime(x: Int)(y: Int) = x * y
```

如你所见，多参数不过是个虚饰，并不是编程语言的什么根本性的特质。这是个很有意思的理论，但同时在Scala中也有很实际的用途。有时候，你想要用柯里化来把某个函数参数单拎出来，以提供更多用于类型推断的信息。

这里有一个典型的示例。corresponds方法可以比较两个序列是否在某个比对条件下相同。例如：

```
val a = Array("Hello", "World")
val b = Array("hello", "world")
a.corresponds(b)(_.equalsIgnoreCase(_))
```

注意函数_.equalsIgnoreCase(_)是以一个经过柯里化的参数的形式传递的，有自己独立的(...)。如果你去查看Scaladoc，则会看到corresponds的类型声明如下：

```
def corresponds[B](that: Seq[B])(p: (A, B) => Boolean): Boolean
```

在这里，that序列和前提函数p是分开的两个柯里化的参数。类型推断器可以分析出B出自that的类型，因此就可以利用这个信息来分析作为参数p传入的函数。

拿本例来说，that是一个String类型的序列。因此，前提函数应有的类型为 (String, String) => Boolean。有了这个信息，编译器就可以接受_.equalsIgnoreCase(_)作为(a: String, b: String) => a.equalsIgnoreCase(b)的简写了。

12.9 控制抽象

在Scala中，我们可以将一系列语句归组成不带参数也没有返回值的函数。举例来

说，如下函数在线程中执行某段代码：

```
def runInThread(block: () => Unit) {
  new Thread {
    override def run() { block() }
  }.start()
}
```

150

这段代码以类型为() => Unit的函数的形式给出。不过，当你调用该函数时，需要写一段不那么美观的() =>：

```
runInThread { () => println("Hi"); Thread.sleep(10000); println("Bye") }
```

要想在调用中省掉() =>，可以使用*换名调用*表示法：在参数声明和调用该函数参数的地方略去()，但保留=>：

```
def runInThread(block: => Unit) {
  new Thread {
    override def run() { block }
  }.start()
}
```

这样一来，调用代码就变成了

```
runInThread { println("Hi"); Thread.sleep(10000); println("Bye") }
```

这看上去很棒。Scala程序员可以构建*控制抽象*：看上去像是编程语言的关键字的函数。举例来说，我们可以实现一个用起来完全像是在使用while语句那样的函数。或者，我们也可以再发挥一下，定义一个until语句，工作原理类似while，只不过把条件反过来用：

```
def until(condition: => Boolean)(block: => Unit) {
  if (!condition) {
    block
    until(condition)(block)
  }
}
```

以下是如何使用until的：

```
var x = 10
until (x == 0) {
  x -= 1
  println(x)
}
```

这样的函数参数有一个专业术语叫做*换名调用参数*。和一个常规（或者说换值调用）的参数不同，函数在被调用时，参数表达式不会被求值。毕竟，在调用until时，我们不希望x == 0被求值得到false。与之相反，表达式成为无参函数的函数体，而该函数被当做参数传递下去。

仔细看一下until函数的定义。注意它是柯里化的：函数首先处理掉condition，然后把block当做完全独立的另一个参数。如果没有柯里化，调用就会变成这个样子：

```
until(x == 0, { ... })
```

用起来就没那么漂亮了。

151

12.10 return表达式

在Scala中，你不需要用return语句来返回函数值。函数的返回值就是函数体的值。

不过，你可以用return来从一个匿名函数中返回值给包含这个匿名函数的带名函数。这对于控制抽象是很有用的。举例来说，如下函数：

```
def indexOf(str: String, ch: Char): Int = {
  var i = 0
  until (i == str.length) {
    if (str(i) == ch) return i
    i += 1
  }
  return -1
}
```

在这里，匿名函数 { if (str(i) == ch) return i; i += 1 } 被传递给until。当return表达式被执行时，包含它的带名函数indexOf终止并返回给定的值。

如果你要在带名函数中使用return的话，则需要给出其返回类型。举例来说，在上

述的indexOf函数中，编译器没法推断出它会返回Int。

控制流程的实现依赖一个在匿名函数的return表达式中抛出的特殊异常，该异常从until函数传出，并被indexOf函数捕获。

注意：如果异常在被送往带名函数值前，在一个try代码块中被捕获掉了，那么相应的值就不会被返回。

练习

1. 编写函数values(fun: (Int) => Int, low: Int, high: Int)，该函数输出一个集合，对应给定区间内给定函数的输入和输出。比如，values(x => x * x, -5, 5)应该产出一个对偶的集合(-5, 25)，(-4, 16)，(-3, 9)，…，(5, 25)。
2. 如何用reduceLeft得到数组中的最大元素？
3. 用to和reduceLeft实现阶乘函数，不得使用循环或递归。
4. 前一个实现需要处理一个特殊情况，即n < 1的情况。展示如何用foldLeft来避免这个需要。（在Scaladoc中查找foldLeft的说明。它和reduceLeft很像，只不过所有需要结合在一起的这些值的首值在调用的时候给出。）

152

5. 编写函数largest(fun: (Int) => Int, inputs: Seq[Int])，输出在给定输入序列中给定函数的最大值。举例来说，largest(x => 10 * x - x * x, 1 to 10)应该返回25。不得使用循环或递归。
6. 修改前一个函数，返回最大的输出对应的输入。举例来说，largestAt(fun: (Int) => Int, inputs: Seq[Int])应该返回5。不得使用循环或递归。
7. 要得到一个序列的对偶很容易，比如：

```
val pairs = (1 to 10) zip (11 to 20)
```

假定你想要对这个序列做某种操作——比如，给对偶中的值求和。但你不能直接用：

```
pairs.map(_ + _)
```

函数_ + _接受两个Int作为参数，而不是(Int, Int)对偶。编写函数adjustToPair，

该函数接受一个类型为(Int, Int) => Int的函数作为参数，并返回一个等效的、可以以对偶作为参数的函数。举例来说就是：adjustToPair(_ * _)((6, 7))应得到42。

然后用这个函数通过map计算出各个对偶的元素之和。

8. 在12.8节中，你看到了用于两组字符串数组的corresponds方法。做出一个对该方法的调用，让它帮我们判断某字符串数组里的所有元素的长度是否和某个给定的整数数组相对应。
9. 不使用柯里化实现corresponds。然后尝试从前一个练习的代码来调用。你遇到了什么问题？
10. 实现一个unless控制抽象，工作机制类似if，但条件是反过来的。第一个参数需要是换名调用的参数吗？你需要柯里化吗？

153

第13章 集 合

本章的主题 A2

- 13.1 主要的集合特质——第166页
- 13.2 可变和不可变集合——第167页
- 13.3 序列——第168页
- 13.4 列表——第169页
- 13.5 可变列表——第170页
- 13.6 集——第171页
- 13.7 用于添加或去除元素的操作符——第173页
- 13.8 常用方法——第175页
- 13.9 将函数映射到集合——第177页
- 13.10 化简、折叠和扫描 A3——第178页
- 13.11 拉链操作——第181页
- 13.12 迭代器——第183页
- 13.13 流 A3——第184页
- 13.14 懒视图——第185页
- 13.15 与Java集合的互操作——第186页
- 13.16 线程安全的集合——第188页
- 13.17 并行集合——第188页
- 练习——第190页

Chapter 13

在本章中，你将从类库使用者的角度学习Scala的集合库。除了你之前已经接触到的数组和映射外，你还会看到其他有用的集合类型。有很多方法可以被应用到集合上，本章将依次介绍它们。

本章的要点包括：

- 所有集合都扩展自Iterable特质。
- 集合有三大类，分别为序列、集和映射。
- 对于几乎所有集合类，Scala都同时提供了可变的和不可变的版本。
- Scala列表要么是空的，要么拥有一头一尾，其中尾部本身又是一个列表。
- 集是无先后次序的集合。
- 用LinkedHashSet来保留插入顺序，或者用SortedSet来按顺序进行迭代。
- +将元素添加到无先后次序的集合中；+:和:+向前或向后追加到序列；++将两个集合串接在一起；-和--移除元素。
- Iterable和Seq特质有数十个用于常见操作的方法。在编写冗长烦琐的循环之前，先看看这些方法是否满足你的需要。
- 映射、折叠和拉链操作是很有用的技巧，用来将函数或操作应用到集合中的元素。

13.1 主要的集合特质

图13-1显示了构成Scala集合继承层级最重要的特质。

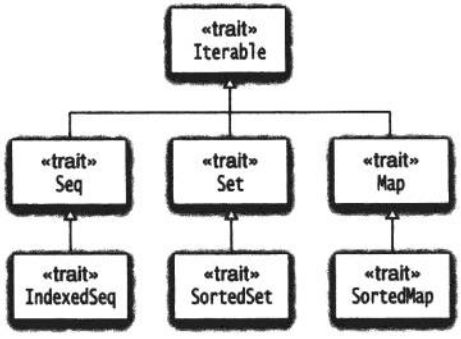


图13-1 Scala集合继承层级中的关键特质

Iterable指的是那些能生成用来访问集合中所有元素的Iterator的集合：

```
val coll = ... // 某种Iterable
val iter = coll.iterator
while (iter.hasNext)
  对 iter.next() 执行某种操作
```

这是遍历一个集合最基本的方式。不过，你将在本章看到，通常还有更加便捷的做法。

Seq是一个有先后次序的值的序列，比如数组或列表。IndexedSeq允许我们通过整型的下标快速地访问任意元素。举例来说，ArrayBuffer是带下标的，但链表不是。

Set是一组没有先后次序的值。在SortedSet中，元素以某种排过序的顺序被访问。

Map是一组（键，值）对偶。SortedMap按照键的排序访问其中的实体。更多信息参见第4章。

这个继承层级和Java很相似，同时有一些不错的改进：

1. 映射隶属于同一个继承层级而不是一个单独的层级关系。

156 2. IndexedSeq是数组的超类型，但不是列表的超类型，以便于区分。

说明： 在Java中，ArrayList和LinkedList实现同一个List接口，使得编写那种需要优先考虑随机访问效率的代码十分困难，例如，在一个已排序的序列中进行

查找的时候。这是最初的Java集合框架中一个有问题的设计决定。后来的版本加入了RandomAccess这个标记接口来应对这个缺陷。

每个Scala集合特质或类都有一个带有apply方法的伴生对象，这个apply方法可以用来构建该集合中的实例。例如：

```
Iterable(0xFF, 0xFF00, 0xFF0000)
Set(Color.RED, Color.GREEN, Color.BLUE)
Map(Color.RED -> 0xFF0000, Color.GREEN -> 0xFF00, Color.BLUE -> 0xFF)
SortedSet("Hello", "World")
```

这样的设计叫做“统一创建原则”。

13.2 可变和不可变集合

Scala同时支持可变的和不可变的集合。不可变的集合从不改变，因此你可以安全地共享其引用，甚至是在一个多线程的应用程序当中也没问题。举例来说，既有scala.collection.mutable.Map，也有scala.collection.immutable.Map。它们有一个共有的超类型scala.collection.Map（当然了，这个超类型没有定义任何改值操作）。

说明：当你握有一个指向scala.collection.immutable.Map的引用时，你知道没人能修改这个映射。如果你有的是一个scala.collection.Map，那么你不能改变它，但别人也许会。

Scala优先采用不可变集合。scala.collection包中的伴生对象产出不可变的集合。举例来说，scala.collection.Map("Hello" -> 42)是一个不可变的映射。

不止如此，总被引入的scala包和Predef对象里有指向不可变特质的类型别名List、Set和Map。举例来说，Predef.Map和scala.collection.immutable.Map是一回事。

提示：使用如下语句：

```
import scala.collection.mutable
```

你就可以用Map得到不可变的映射，用mutable.Map得到可变的映射。

如果之前没有接触过不可变集合，你可能会想，如何用它们来做有用的工作呢？问题的关键在于，你可以基于老的集合创建新集合。举例来说，如果numbers是一个不可变的集，那么

```
numbers + 9
```

就是一个包含了numbers和9的新集。如果9已经在集中，则你得到的是指向老集的引用。这在递归计算中特别自然。举例来说，我们可以计算某个整数中所有出现过的阿拉伯数字的集：

```
def digits(n: Int): Set[Int] =
  if (n < 0) digits(-n)
  else if (n < 10) Set(n)
  else digits(n / 10) + (n % 10)
```

这个方法从包含单个数字的集开始，每一步，添加进另外一个数字。不过，添加某个数字并不会改变原有的集，而是构造出一个新的集。

13.3 序列

图13-2显示了最重要的不可变序列。

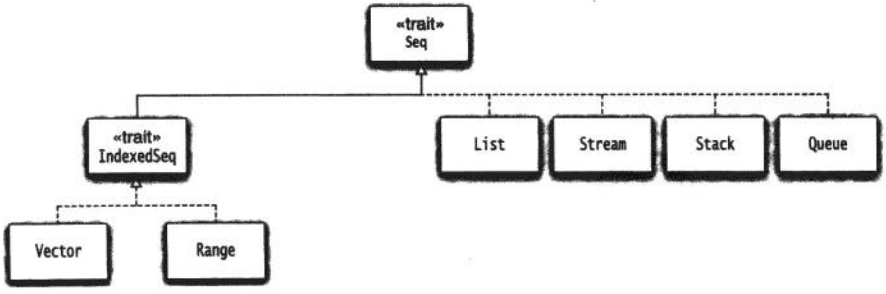


图13-2 不可变序列

Vector是ArrayBuffer的不可变版本：一个带下标的序列，支持快速的随机访问。向量是以树形结构的形式实现的，每个节点可以有不超过32个子节点。对于一个有100万个元素的向量而言，我们只需要四层节点（因为$10^3 \approx 2^{10}$，而$10^6 \approx 32^4$。）。访问这样一个列表中的某个元素只需要4跳，而在链表中，同样的操作平均需要500 000跳。

Range表示一个整数序列，比如0,1,2,3,4,5,6,7,8,9或10,20,30。当然了，Range对象并不存储所有值而只是起始值、结束值和增值。你可以用to和until方法来构造Range对象，就像第3章中介绍的那样。

我们将在13.4节介绍列表，然后在13.13节中介绍流。

最有用可变序列参见图13-3。

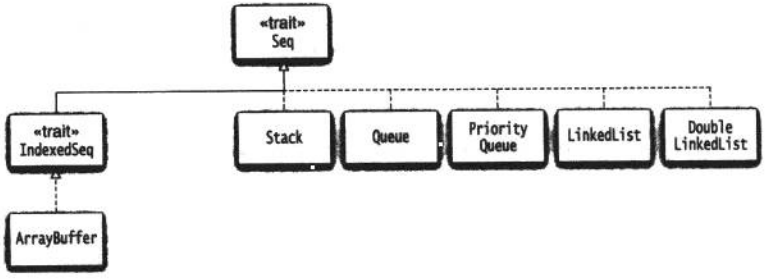


图13-3 可变序列

我们在第3章中介绍了数组缓冲。而栈、队列、优先级队列等都是标准的数据结构，用来实现特定算法。如果你熟悉这些结构的话，Scala的实现不会让你感到意外。

不过，链表类有些特殊，它们和你在Java、C++或数据结构课程中可能接触到的链表不太一样。我们将在13.4节具体介绍。

13.4 列表

在Scala中，列表要么是Nil（即空表），要么是一个head元素加上一个tail，而tail又是一个列表。比如下面这个列表

```
val digits = List(4, 2)
```

digits.head的值是4，而digits.tail是List(2)。再进一步，digits.tail.head是2，而digits.tail.tail是Nil。

::操作符从给定的头和尾创建一个新的列表。例如：

```
9 :: List(4, 2)
```

就是List(9, 4, 2)。你也可以将这个列表写做：

```
9 :: 4 :: 2 :: Nil
```

注意::是右结合的。通过::操作符，列表将从末端开始构建。

```
9 :: (4 :: (2 :: Nil))
```

在Java或C++中，我们用迭代器来遍历链表。在Scala中你也可以这样做，但使用递归会更加自然。例如，如下函数计算整型链表中所有元素之和：

```
def sum(lst: List[Int]): Int =
  if (lst == Nil) 0 else lst.head + sum(lst.tail)
```

或者，如果你愿意，你也可以使用模式匹配：

```
def sum(lst: List[Int]): Int = lst match{
  case Nil => 0
  case h :: t => h + sum(t) // h是lst.head而t是lst.tail
}
```

注意第二个模式中的::操作符，它将列表“析构”成头部和尾部。

说明：递归之所以那么自然，是因为列表的尾部正好又是一个列表。

不过，在你对于递归的优雅过度兴奋之前，先看看Scala类库。它已经有sum方法了：

```
List(9, 4, 2).sum // 输出15
```

13.5 可变列表

可变的LinkedList和不可变的List相似，只不过你可以通过对elem引用赋值来修改其头部，对next引用赋值来修改其尾部。

160

注意：你并不是给head和tail赋值。

举例来说，如下循环将把所有负值都改成零：

```
val lst = scala.collection.mutable.LinkedList(1, -2, 7, -9)
var cur = lst
while (cur != Nil) {
```

```
  if (cur.elem < 0) cur.elem = 0
  cur = cur.next
}
```

如下循环将去除每两个元素中的一个：

```
var cur = lst
while (cur != Nil && cur.next != Nil) {
  cur.next = cur.next.next
  cur = cur.next
}
```

在这里，变量cur用起来就像是迭代器，但实际上它的类型是LinkedList。

除LinkedList外，Scala还提供了一个DoubleLinkedList，区别是它多带一个prev引用。

注意：如果你想要把列表中的某个节点变成列表中的最后一个节点，你不能将next引用设为Nil，而应该将它设为LinkedList.empty。也不要将它设成null，不然你在遍历该链表时会遇到空指针错误。

13.6 集

集是不重复元素的集合。尝试将已有元素加入没有效果。例如：

```
Set(2, 0, 1) + 1
```

和Set(2, 0, 1)是一样的。

和列表不同，集并不保留元素插入的顺序。缺省情况下，集是以哈希集实现的，其元素根据hashCode方法的值进行组织。（Scala和Java一样，每个对象都有hashCode方法。）

举例来说，如果你遍历

```
Set(1, 2, 3, 4, 5, 6)
```

元素被访问到的次序为：

```
5 1 6 2 3 4
```

你可能会觉得奇怪为什么集不保持元素的顺序。实际情况是，如果你允许集对它们的元素重新排列的话，你可以以快得多的速度找到元素。在哈希集中查找元素要比
161 在数组或列表中快得多。

链式哈希集可以记住元素被插入的顺序。它会维护一个链表来达到这个目的。例如：

```
val weekdays = scala.collection.mutable.LinkedHashSet("Mo", "Tu", "We", "Th", "Fr")
```

如果你想要按照已排序的顺序来访问集中的元素，用已排序的集：

```
scala.collection.immutable.SortedSet(1, 2, 3, 4, 5, 6)
```

已排序的集是用红黑树实现的。

注意： Scala 2.9没有可变的已排序集。如果你需要这样一个数据结构，可以用java.util.TreeSet。

说明： 数据结构的实现，比如哈希表和二叉树，以及这些结构上各种操作的效率等，是大学计算机专业本科课程的标准内容。如果你想要重温这些内容，可参考如下地址的免费书籍 www.cs.williams.edu/javastructures/Welcome.html。

位集（bit set）是集的一种实现，以一个字位序列的方式存放非负整数。如果集中有i，则第i个字位是1。这是个很高效的实现，只要最大元素不是特别的大。Scala提供了可变的和不可变的两个BitSet类。

contains方法检查某个集是否包含给定的值。subsetOf方法检查某个集当中的所有元素是否都被另一个集包含。

```
val digits = Set(1, 7, 2, 9)
digits contains 0 // false
Set(1, 2) subsetOf digits // true
```

union、intersect和diff方法执行通常的集操作。如果你愿意，你也可以将它们写做|、&和&~。你也可以将联合（union）写做 ++，将差异（diff）写做--。举例来说，如果我们有如下的集：

```
val primes = Set(2, 3, 5, 7)
```

则digits union primes等于Set(1, 2, 3, 5, 7, 9)，digits & primes等于Set(2, 7)，而digits -- primes等于Set(1, 9)。

13.7 用于添加或去除元素的操作符

表13-1展示了为各种集合类型定义的用于添加或去除元素的操作符。 162

表13-1 用于添加和移除元素的操作符

操作符	描述	集合类型
coll :+ elem elem +: coll	有elem被追加到尾部或头部的与coll类型相同的集合	Seq
coll + elem coll + (e1, e2, ...)	添加了给定元素的与coll类型相同的集合	Set、Map
coll - elem coll - (e1, e2, ...)	给定元素被移除的与coll类型相同的集合	Set、Map、ArrayBuffer
coll ++ coll2 coll2 ++: coll	与coll类型相同的集合，包含了两个集合的元素	Iterable
coll -- coll2	移除了coll2中元素的与coll类型相同的集合（用diff来处理序列。）	Set、Map、ArrayBuffer
elem :: lst lst2 ::: lst	被向前追加了元素或给定列表的列表。和+:以及++:的作用相同	List
list ::: list2	等同于 list ++: list2	List
set | set2 set & set2 set &~ set2	并集、交集和两个集的差异。|等同于 ++，&~等同于 --	Set
coll += elem coll += (e1, e2, ...) coll ++= coll2 coll -= elem coll -= (e1, e2, ...) coll --= coll2	通过添加或移除给定元素来修改coll	可变集合
elem +=: coll coll2 ++=: coll	通过向前追加给定元素或集合来修改coll	ArrayBuffer

一般而言，+用于将元素添加到无先后次序的集合，而+:和:+则是将元素添加到有先后次序的集合的开头或末尾。

```
Vector(1, 2, 3) :+ 5 // 产出Vector(1, 2, 3, 5)
1 +: Vector(1, 2, 3) // 产出Vector(1, 2, 3)
```

163

注意，和其他以冒号结尾的操作符一样，+:是右结合的，是右侧操作元的方法。

这些操作符都返回新的集合（和原集合类型保持一致），不会修改原有的集合。而可变集合有+=操作符用于修改左侧操作元。例如：

```
val numbers = ArrayBuffer(1, 2, 3)
numbers += 5 // 将5添加到numbers
```

对于不可变集合，你可以在var上使用+=或:+=，就像这样：

```
var numbers = Set(1, 2, 3)
numbers += 5 // 将numbers设为不可变的集numbers + 5
var numberVector = Vector(1, 2, 3)
numberVector :+= 5 // 在这里我们没法用+=，因为向量没有+操作符。
```

要移除元素，使用-操作符：

```
Set(1, 2, 3) - 2 // 将产出Set(1, 3)
```

你可以用++来一次添加多个元素：

```
coll ++ coll2
```

将产出一个与coll类型相同，且包含了coll和coll2中所有元素的集合。类似地，--操作符将一次移除多个元素。

提示：如你所见，Scala提供了许多用于添加和移除元素的操作符。以下是一个汇总：

1. 向后（:+）或向前（+:）追加元素到序列当中。
2. 添加（+）元素到无先后次序的集合中。
3. 用-移除元素。
4. 用++和--来批量添加和移除元素。
5. 对于列表，优先使用::和:::。
6. 改值操作有+=、++=、-=和--=。
7. 对于集合，我更喜欢++、&和--。
8. 我尽量不用++:、+=:和++=:。

说明：对于列表，你可以用+:而不是::来保持与其他集合操作的一致性，但有一个例外：模式匹配（case h::t）不认+:操作符。

13.8 常用方法

表13-2给出了Iterable特质最重要方法的概览，按功能点排列。 164

表13-2 Iterable特质的重要方法

方法	描述
head、last、headOption、lastOption	返回第一个或最后一个元素；或者，以Option返回
tail、init	返回除第一个或最后--个元素外其余的部分
length、isEmpty	返回集合长度；或者，当长度为零时返回true
map(f)、foreach(f)、flatMap(f)、collect(pf)	将函数应用到所有元素；参见13.9节
reduceLeft(op)、reduceRight(op)、foldLeft(init)(op)、foldRight(init)(op)	以给定顺序将二元操作应用到所有元素；参见13.10节
reduce(op)、fold(init)(op)、aggregate(init)(op, combineOp)	以非特定顺序将二元操作应用到所有元素；参见13.17节
sum、product、max、min	返回和或乘积（前提是元素类型可以被隐式转换成Numeric特质）；或者，最大值或最小值（前提是元素类型可以被转换成Ordered特质）
count(pred)、forall(pred)、exists(pred)	返回满足前提表达式的元素计数；所有元素都满足时返回true；或者，至少有一个元素满足时返回true
filter(pred)、filterNot(pred)、partition(pred)	返回所有满足前提表达式的元素；所有不满足的元素；或者，这两组元素组成的对偶
takeWhile(pred)、dropWhile(pred)、span(pred)	返回满足前提表达式的一组元素（直到遇到第一个不满足的元素）；所有其他元素；或者，这两组元素组成的对偶
take(n)、drop(n)、splitAt(n)	返回头n个元素；所有其他元素；或者，这两组元素组成的对偶
takeRight(n)、dropRight(n)	返回最后n个元素；或者，所有其他元素

（续表）

方法	描述
slice(from, to)	返回位于从from开始到to结束这个区间内的所有元素
zip(coll2)、zipAll(coll2, fill, fill2)、zipWithIndex	返回由本集合元素和另一个集合的元素组成的对偶；参见13.11节
grouped(n)、sliding(n)	返回长度为n的子集合迭代器；grouped产出下标为0 until n的元素，然后是下标为n until 2 * n的元素，依此类推；sliding产出下标为0 until n的元素，然后是下标为1 until n + 1的元素，依此类推
mkString(before, between, after)、addString(sb, before, between, after)	做出一个由所有元素组成的字符串，将给定字符串分别添加到首个元素之前、每个元素之间，以及最后一个元素之后。第二个方法将该字符串追加到字符串构建器（string builder）当中
toIterable、toSeq、toIndexedSeq、toArray、toList、toStream、toSet、toMap	将集合转换成指定类型的集合
copyToArray(arr)、copyToArray(arr, start, length)、copyToBuffer(buf)	将元素拷贝到数组或缓冲当中

165

Seq特质在Iterable特质的基础上又额外添加了一些方法。表13-3展示了最重要的几个。

表13-3 Seq特质的重要方法

方法	描述
contains(elem)、containsSlice(seq)、startsWith(seq)、endsWith(seq)	返回true，如果该序列：包含给定元素；包含给定序列；以给定序列开始；或者，以给定序列结束
indexOf(elem)、lastIndexOf(elem)、indexOfSlice(seq)、lastIndexOfSlice(seq)	返回给定元素或序列在当前序列中的首次或末次出现的下标
indexWhere(pred)	返回满足pred的首个元素的下标
prefixLength(pred)、segmentLength(pred, n)	返回满足pred的最长元素序列的长度，从当前序列的下标0或n开始查找
padTo(n, fill)	返回当前序列的一个拷贝，将fill的内容向后追加，直到新序列长度达到n

166

（续表）

方法	描述
intersect(seq)、diff(seq)	返回“多重集合”的交集，或序列之间的差异。举例来说，如果a包含五个1而b包含两个，则a intersect b包含两个1（较小的那个计数），而a diff b包含三个1（它们之间的差异）
reverse	当前序列的反向
sorted、sortWith(less)、sortBy(f)	使用元素本身的大小、二元函数less，或者将每个元素映射成一个带先后次序的类型的值的函数f，对当前序列进行排序后的新序列
permutations、combinations(n)	返回一个遍历所有排列或组合（长度为n的子序列）的迭代器

说明：注意这些方法从不改变原有集合。它们返回一个与原集合类型相同的新集合。这有时被叫做“统一返回类型”原则。

13.9 将函数映射到集合

你可能会想要对集合中的所有元素进行变换。map方法可以将某个函数应用到集合中的每个元素并产出其结果的集合。举例来说，给定一个字符串的列表：

```
val names = List("Peter", "Paul", "Mary")
```

你可以用如下代码得到一个全大写的字符串列表：

```
names.map(_.toUpperCase) // List("PETER", "PAUL", "MARY")
```

这和下面的代码效果完全一样：

```
for (n <- names) yield n.toUpperCase
```

如果函数产出一个集合而不是单个值的话，你可能会想要将所有的值串接在一起。如果有这个要求，则用flatMap。例如有如下函数：

```
def ulcase(s: String) = Vector(s.toUpperCase(), s.toLowerCase())
```


则names.map(ulcase)得到

```
List(Vector("PETER", "peter"), Vector("PAUL", "paul"), Vector("MARY", "mary"))
```

而names.flatMap(ulcase)得到

```
List("PETER", "peter", "PAUL", "paul", "MARY", "mary")
```

提示：如果你使用flatMap并传入返回Option的函数的话，最终返回的集合将包含所有的值*v*，前提是函数返回Some(*v*)。

collect方法用于*偏函数*（partial function）——那些并没有对所有可能的输入值进行定义的函数。它产出被定义的所有参数的函数值的集合。例如：

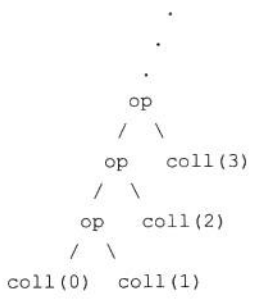
```
"-3+4".collect { case '+' => 1; case '-' => -1 } // Vector(-1, 1)
```

最后，如果你应用函数到各个元素仅仅是为了它的副作用而不关心函数值的话，那么可以用foreach：

```
names.foreach(println)
```

13.10 化简、折叠和扫描 A3

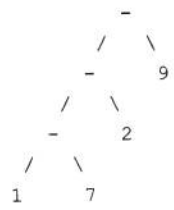
map方法将一元函数应用到集合的所有元素。我们在这一节要介绍的方法将会用二元函数来组合集合中的元素。类似c.reduceLeft(op)这样的调用将op相继应用到元素，就像这样：



例如：

```
List(1, 7, 2, 9).reduceLeft(_ - _)
```

将得到 168



即

```
((1 - 7) - 2) -9 = 1 - 7 - 2 - 9 = -17
```

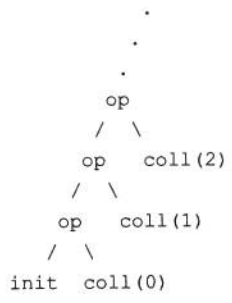
reduceRight方法做同样的事，只不过它从集合的尾部开始。例如：

```
List(1, 7, 2, 9).reduceRight(_ - _)
```

将得到

```
1 - (7 - (2 - 9)) = 1 - 7 + 2 - 9 = -13
```

以不同于集合首元素的初始元素开始计算通常也很有用。对coll.foldLeft(init)(op)的调用将会计算



例如：

```
List(1, 7, 2, 9).foldLeft(0)(_ - _)
```

将得到

```
0 - 1 - 7 - 2 - 9 = -19
```

说明：初始值和操作符是两个分开定义的“柯里化”参数，这样Scala就能用初始值的类型来推断出操作符的类型定义。举例来说，在List(1, 7, 2, 9).foldLeft("")(_ + _)中，初始值是一个字符串，因此操作符必定是一个类型定义为(String, Int) => String的函数。

169

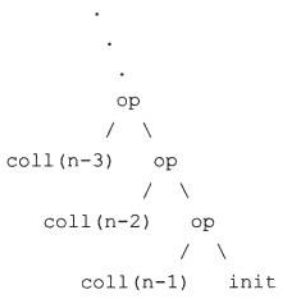
你也可以用/:操作符来写foldLeft操作，就像这样：

```
(0 /: List(1, 7, 2, 9))(_ - _)
```

/:操作符的本意是想让你联想到一棵树的样子。

说明：对/:操作符而言，初始值是第一个操作元。注意，由于操作符以冒号结尾，它是第二个操作元的方法。

Scala同样也提供了foldRight或:\的变体，计算

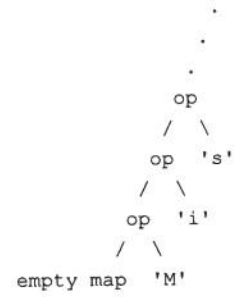


这些示例看上去并不是很有用。coll.reduceLeft(_ + _)或者coll.foldLeft(0)(_ + _)当然会计算出集合中所有元素之和，但你也可以通过调用coll.sum直接得到这个结果。

折叠有时候可以作为循环的替代，这也是它吸引人的地方。假定我们想要计算某个字符串中字母出现的频率。方式之一是访问每个字母，然后更新一个可变映射。

```
val freq = scala.collection.mutable.Map[Char, Int]()
for (c <- "Mississippi") freq(c) = freq.getOrElse(c, 0) + 1
  // 现在freq是Map('i' -> 4, 'M' -> 1, 's' -> 4, 'p' -> 2)
```

以下是另一种思考方式。在每一步，将频率映射和新遇到的字母结合在一起，产出一个新的频率映射。这就是折叠：



170

op是什么呢？左操作元是一个部分填充的映射，右操作元是新字母。结果是扩编后的映射。该映射又被作为下一个op调用的输入，最后的结果是包含所有计数的映射。代码是：

```
(Map[Char, Int]() /: "Mississippi") {
  (m, c) => m + (c -> (m.getOrElse(c, 0) + 1))
}
```

注意这是一个不可变映射。我们在每一步都计算出一个新的映射。

说明：任何while循环都可以用折叠来替代。构建一个把循环中被更新的所有变量结合在一起的数据结构，然后定义一个操作，实现循环中的一步。我并不是说这样做总是好的，但你可能会觉得循环和改值可以像这样被消除是很有趣的一件事。

最后，scanLeft和scanRight方法将折叠和映射操作结合在一起。你得到的是包含所有中间结果的集合。例如：

```
(1 to 10).scanLeft(0)(_ + _)
```

产出所有中间结果和最后的和：

```
Vector(0, 1, 3, 6, 10, 15, 21, 28, 36, 45, 55)
```

13.11 拉链操作

前一节的方法是将操作应用到同一个集合中相邻的元素。有时，你握有两个集

合，而你想把相互对应的元素结合在一起。举例来说，假定你有一个产品价格的列表，以及相应的数量：

```
val prices = List(5.0, 20.0, 9.95)
val quantities = List(10, 2, 1)
```

zip方法让你将它们组合成一个个对偶的列表。例如：

```
prices zip quantities
```

将得到一个List[(Double, Int)]：

```
List[(Double, Int)] = List((5.0, 10), (20.0, 2), (9.95, 1))
```

这个方法之所以叫做“拉链（zip）”，是因为它就像拉链的齿状结构一样将两个集合结合在一起。

这样一来对每个对偶应用函数就很容易了。

171

```
(prices zip quantities) map { p => p._1 * p._2 }
```

结果是一个包含了价格的列表：

```
List(50.0, 40.0, 9.95)
```

所有物件的总价就是：

```
((prices zip quantities) map { p => p._1 * p._2 }) sum
```

如果一个集合比另一个短，那么结果中的对偶数量和较短的那个集合的元素数量相同。例如：

```
List(5.0, 20.0, 9.95) zip List(10, 2)
```

将得到

```
List((5.0, 10), (20.0, 2))
```

zipAll方法让你指定较短列表的缺省值：

```
List(5.0, 20.0, 9.95).zipAll(List(10, 2), 0.0, 1)
```

将得到

```
List((5.0, 10), (20.0, 2), (9.95, 1))
```

zipWithIndex方法返回对偶的列表，其中每个对偶中第二个组成部分是每个元素的下标。例如：

```
"Scala".zipWithIndex
```

将得到

```
Vector(('S', 0), ('c', 1), ('a', 2), ('l', 3), ('a', 4))
```

这在计算具备某种属性的元素的下标时很有用。例如：

```
"Scala".zipWithIndex.max
```

将得到('l', 3)。具备最大编码的值的下标为

```
"Scala".zipWithIndex.max._2
```

13.12 迭代器

你可以用iterator方法从集合获得一个迭代器。这种做法并不像在Java或C++中那样普遍，因为通过前面章节介绍的方法，你通常可以更容易地得到你所需要的结果。

不过，对于那些完整构造需要很大开销的集合而言，迭代器就很有用了。举例来说，Source.fromFile产出一个迭代器，是因为将整个文件都读取到内存可能并不是很高效的做法。Iterable中有一些方法可以产出迭代器，比如grouped或sliding。 172

有了迭代器，你就可以用next和hasNext方法来遍历集合中的元素了。

```
while (iter.hasNext)
  对 iter.next() 执行某种操作
```

如果你愿意，你也可以用for循环：

```
for (elem <- iter)
  对 elem 执行某种操作
```

上述两种循环都会将迭代器移动到集合的末尾，在此之后它就不能再被使用了。

Iterator类定义了一些与集合方法使用起来完全相同的方法。具体而言，13.8节中列出的所有Iterable的方法，除head、headOption、last、lastOption、tail、init、takeRight和dropRight外，都支持。在调用了诸如map、filter、count、sum甚至是length方法后，迭代器将位于集合的尾端，你不能再继续使用它。而对于其他方法而言，比如find或

take，迭代器位于已找到元素或已取得元素之后。

如果你感到操作迭代器很烦琐，则可以用诸如toArray、toIterable、toSeq、toSet或toMap来将相应的值拷贝到一个新的集合中。

13.13 流A3

在前一节，你看到了迭代器相对于集合而言是一个“懒”的替代品。你只有在需要时才去取元素。如果你不需要更多元素，则不会付出计算剩余元素的代价。

话虽如此，迭代器也是很脆弱的。每次对next的调用都会改变迭代器的指向。流（stream）提供的是一个不可变的替代品。流是一个尾部被懒计算的不可变列表——也就是说，只有当你需要时它才会被计算。

以下是一个典型的示例：

```
def numsFrom(n: BigInt): Stream[BigInt] = n #:: numsFrom(n + 1)
```

#::操作符很像是列表的::操作符，只不过它构建出来的是一个流。

当你调用

```
val tenOrMore = numsFrom(10)
```

时，你得到的是一个被显示为

```
Stream(10, ?)
```

的流对象。其尾部是未被求值的。如果你调用

173

```
tenOrMore.tail.tail.tail
```

得到的将会是

```
Stream(13, ?)
```

流的方法是懒执行的。例如：

```
val squares = numsFrom(1).map(x => x * x)
```

将产出

```
Stream(1, ?)
```

你需要调用squares.tail来强制对下一个元素求值。

如果你想得到多个答案，则可以调用take，然后用force，这将强制对所有值求值。例如：

```
squares.take(5).force
```

将产出Stream(1, 4, 9, 16, 25)。

当然了，你不会想要调用

```
squares.force // 别!
```

这个调用将尝试对一个无穷流的所有成员进行求值，引发OutOfMemoryError。

你可以从迭代器构造一个流。举例来说，Source.getLines方法返回一个Iterator[String]。用这个迭代器，对于每一行你只能访问一次。而流将缓存访问过的行，允许你重新访问它们：

```
val words = Source.fromFile("/usr/share/dict/words").getLines.toStream
words // Stream(A, ?)
words(5) // Aachen
words // Stream(A, A's, AOL, AOL's, Aachen, ?)
```

13.14 懒视图

在前一节，你看到了流方法是懒执行的，仅当结果被需要时才计算。你可以对其他集合应用view方法来得到类似的效果。该方法产出一个其方法总是被懒执行的集合。例如：

```
val powers = (0 until 1000).view.map(pow(10, _))
```

将产出一个未被求值的集合。（不像流，这里连第一个元素都未被求值。）当你执行如下代码时：

```
powers(100)
```

174

pow(10, 100)被计算，但其他值的幂并没有被计算。和流不同，这些视图并不缓存任何值。如果你再次调用powers(100)，pow(10, 100)将重新被计算。

和流一样，用force方法可以对懒视图强制求值。你将得到与原集合相同类型的新集合。

懒集合对于处理那种需要以多种方式进行变换的大型集合是很有好处的，因为它避免了构建出大型中间集合的需要。比较如下两个示例：

```
(0 to 1000).map(pow(10, _)).map(1 / _)
```

和

```
(0 to 1000).view.map(pow(10, _)).map(1 / _).force
```

前一个将会计算出10的*n*次方的集合，然后再对每一个得到的值取倒数。而后一个产出的是记住了两个map操作的视图。当求值动作被强制执行时，对于每个元素，这两个操作被同时执行，不需要额外构建中间集合。

说明：当然了，拿本例来说，我们完全可以简单地调用 (0 to 1000).map(x => pow(10, -x))。不过，如果集合在程序中多个不同的地方被处理，你可以将这个累积了不同修改的视图来回传递。

13.15 与Java集合的互操作

有时候，你可能需要使用Java集合，你多半会怀念Scala集合上那些丰富的处理方法。反过来讲，你可能会想要构建出一个Scala集合，然后传递给Java代码。JavaConversions对象提供了用于在Scala和Java集合之间来回转换的一组方法。

给目标值显式地指定一个类型来触发转换。例如：

```
import scala.collection.JavaConversions._
val props: scala.collection.mutable.Map[String, String] = System.getProperties()
```

如果你担心那些不需要的隐式转换也被引入的话，只引入需要的即可。例如：

```
import scala.collection.JavaConversions.propertiesAsScalaMap
```

表13-4展示了从Scala到Java集合的转换。

表13-5展示了反过来从Java到Scala集合的转换。

注意这些转换产出的是包装器，让你可以使用目标接口来访问原本的值。举例来说，如果你用：


```
val props: scala.collection.mutable.Map[String, String] = System.getProperties()
```

那么props就是一个包装器，其方法将调用底层的Java对象。如果你调用：

```
props("com.horstmann.scala") = "impatient"
```

那么包装器将调用底层Properties对象的put("com.horstmann.scala", "impatient")。

表13-4 从Scala集合到Java集合的转换

隐式函数	从scala.collection中的类型	到java.util中的类型
asJavaCollection	Iterable	Collection
asJavaIterable	Iterable	Iterable
asJavaIterator	Iterator	Iterator
asJavaEnumeration	Iterator	Enumeration
seqAsJavaList	Seq	List
mutableSeqAsJavaList	mutable.Seq	List
bufferAsJavaList	mutable.Buffer	List
setAsJavaSet	Set	Set
mutableSetAsJavaSet	mutable.Set	Set
mapAsJavaMap	Map	Map
mutableMapAsJavaMap	mutable.Map	Map
asJavaDictionary	Map	Dictionary
asJavaConcurrentMap	mutable.ConcurrentMap	concurrent.ConcurrentMap

表13-5 从Java集合到Scala集合的转换

隐式函数	从java.util中的类型	到scala.collection中的类型
collectionAsScalaIterable	Collection	Iterable
iterableAsScalaIterable	Iterable	Iterable
asScalaIterator	Iterator	Iterator
enumerationAsScalaIterator	Enumeration	Iterator
asScalaBuffer	List	mutable.Buffer
asScalaSet	Set	mutable.Set
mapAsScalaMap	Map	mutable.Map
dictionaryAsScalaMap	Dictionary	mutable.Map
propertiesAsScalaMap	Properties	mutable.Map
asScalaConcurrentMap	concurrent.ConcurrentMap	mutable.ConcurrentMap

13.16 线程安全的集合

当你从多个线程访问一个可变集合时，你需要确保自己不会在其他线程正在访问它时对其进行修改。Scala类库提供了六个特质，你可以将它们混入集合，让集合的操作变成同步的：

```
SynchronizedBuffer
SynchronizedMap
SynchronizedPriorityQueue
SynchronizedQueue
SynchronizedSet
SynchronizedStack
```

举例来说，如下代码构建出的就是一个带有同步操作的映射：

```
val scores = new scala.collection.mutable.HashMap[String, Int] with
  scala.collection.mutable.SynchronizedMap[String, Int]
```

注意：在使用这些混入特质之前，请理解它们能做和不能做的事。在前例中，你可以确信scores映射不会被破坏——任何操作都必须先完成，其他线程才可以执行另一个操作。但是，并发地修改或遍历集合并不安全，很可能会引发代码中的错误。

通常来说，你最好使用java.util.concurrent包中的某个类。举例来说，如果多个线程共享一个映射，那么就用ConcurrentHashMap或ConcurrentSkipListMap。这些集合比简单地用同步方式执行所有方法的映射更为高效。不同线程可以并发地访问数据结构中互不相关的部分。（请勿尝试自己实现！）除此之外，对应的迭代器也是“弱一致性”的，意思是说，它提供的视图是迭代器被获取时数据结构的样子。

正如前一节描述的那样，你可以将java.util.concurrent中的集合转换成Scala集合来使用。

177

13.17 并行集合

编写正确的并发程序并不容易，但如今为了更好地利用计算机的多个处理器，支

持并发通常是必需的。Scala提供的用于操纵大型集合任务的解决方案十分诱人。这些任务通常可以很自然地并行操作。举例来说，要计算所有元素之和，多个线程可以并发地计算不同区块的和；在最后，这些部分结果被汇总到一起。要对这样的并发任务进行排程是很伤脑筋的——但用Scala的话你不需要担心这个。如果coll是个大型集合，那么：

```
coll.par.sum
```

上述代码会并发地对它求和。par方法产出当前集合的一个*并行实现*。该实现会尽可能地并行地执行集合方法。例如：

```
coll.par.count(_ % 2 == 0)
```

将会并行地对偶集合求前提表达式的值，然后将结果组合在一起，得出coll中所有偶数的数量。

对数组、缓冲、哈希表、平衡树而言，并行实现会直接重用底层实际集合的实现，而这是很高效的。

你可以通过对要遍历的集合应用.par并行化for循环，就像这样：

```
for (i <- (0 until 100).par) print(i + " ")
```

试试看——数字是按照作用于该任务的线程产出的顺序输出的。

而在for/yield循环中，结果是依次组装的。试试：

```
for (i <- (0 until 100).par) yield i + " "
```

注意：如果并行运算修改了共享的变量，则结果无法预知。举例来说，不要更新一个共享的计数器：

```
var count = 0
for (c <- coll.par) { if (c % 2 == 0) count += 1 } // 错误!
```

par方法返回的并行集合的类型为扩展自ParSeq、ParSet或ParMap特质的类型，所有这些特质都是ParIterable的子类型。这些并不是Iterable的子类型，因此你不能将并行集合传递给预期Iterable、Seq、Set或Map的方法。你可以用ser方法将并行集合转换回串行

的版本，也可以实现接受通用的GenIterable、GenSeq、GenSet或GenMap类型的参数的
178 方法。

说明：并不是所有的方法都可以被并行化。举例来说，reduceLeft和reduceRight要求每个操作符按照顺序先后被应用。还有另外一个方法reduce，该方法对集合的不同部分进行操作，并最终组合出结果。但这里有一个前提，那就是操作符必须是**可自由结合的**——它必须满足：(*a* op *b*) op *c* = *a* op (*b* op *c*)。举例来说，加是可自由结合的，而减不是：(*a* − *b*) − *c* ≠ *a* − (*b* − *c*)。

同样，有一个fold方法对集合的不同部分进行操作。可惜它并不像foldLeft和foldRight那么灵活——该操作符的两个操作元都必须是集合的元素。也就是说，可以coll.par.fold(0)(_ + _)，但不能做更复杂的折叠，就像13.10节中的最后一个示例那样。

要解决这个问题，还有一个更加通用的aggregate方法，将操作符应用于集合的不同部分，然后再用另一个操作符组合出结果。举例来说，str.par.aggregate(Set[Char]())(_ + _, _ ++ _)等同于str.foldLeft(Set[Char]())(_ + _)，产出的结果是一个str中所有不同字符的集。

练习

1. 编写一个函数，给定字符串，产出一个包含所有字符的下标的映射。举例来说，indexes("Mississippi")应返回一个映射，让'M'对应集{0}，'i'对应集{1, 4, 7, 10}，依此类推。使用字符到可变集的映射。另外，你如何保证集是经过排序的？
2. 重复前一个练习，这次用字符到列表的不可变映射。
3. 编写一个函数，从一个整型链表中去除所有零值。
4. 编写一个函数，接受一个字符串的集合，以及一个从字符串到整数值的映射。返回整型的集合，其值为能和集合中某个字符串相对应的映射的值。举例来说，给定Array("Tom", "Fred", "Harry")和Map("Tom" -> 3, "Dick" -> 4, "Harry" ->

5)，返回Array(3, 5)。提示：用flatMap将get返回的Option值组合在一起。

5. 实现一个函数，作用与mkString相同，使用reduceLeft。
6. 给定整型列表lst，(lst :\ List[Int]())(_ :: _)得到什么？(List[Int]() /: lst)(_ :+ _)又得到什么？如何修改它们中的一个，以对原列表进行反向排列？
7. 在13.11节中，表达式(prices zip quantities) map { p => p._1 * p._2 }有些不够优雅。我们不能用(prices zip quantities) map { _ * _ }，因为_ * _是一个带两个参数的函数，而我们需要的是一个带单个类型为元组的参数的函数，Function对象的tupled方法可以将带两个参数的函数改为以元组为参数的函数。将tupled应用于乘法函数，以便我们可以用它来映射由对偶组成的列表。 179
8. 编写一个函数，将Double数组转换成二维数组。传入列数作为参数。举例来说，Array(1, 2, 3, 4, 5, 6)和三列，返回Array(Array(1, 2, 3), Array(4, 5, 6))。用grouped方法。
9. Harry Hacker写了一个从命令行接受一系列文件名的程序。对每个文件名，他都启动一个新的线程来读取文件内容并更新一个字母出现频率映射，声明为：

```
val frequencies = new scala.collection.mutable.HashMap[Char, Int] with
  scala.collection.mutable.SynchronizedMap[Char, Int]
```

当读到字母c时，他调用

```
frequencies(c) = frequencies.getOrElse(c, 0) + 1
```

为什么这样做得不到正确答案？如果他用如下方式实现呢：

```
import scala.collection.JavaConversions.asScalaConcurrentMap
val frequencies: scala.collection.mutable.ConcurrentMap[Char, Int] =
  new java.util.concurrent.ConcurrentHashMap[Char, Int]
```

10. Harry Hacker把文件读取到字符串中，然后想对字符串的不同部分用并行集合来并发地更新字母出现频率映射。他用了如下代码：

```
val frequencies = new scala.collection.mutable.HashMap[Char, Int]
for (c <- str.par) frequencies(c) = frequencies.getOrElse(c, 0) + 1
```

为什么说这个想法很糟糕？要真正地并行化这个计算，他应该怎么做呢？（提示：用aggregate。） 180

第14章　模式匹配和样例类

本章的主题 A2

- 14.1　更好的switch——第194页
- 14.2　守卫——第195页
- 14.3　模式中的变量——第195页
- 14.4　类型模式——第196页
- 14.5　匹配数组、列表和元组——第197页
- 14.6　提取器——第198页
- 14.7　变量声明中的模式——第199页
- 14.8　for表达式中的模式——第199页
- 14.9　样例类——第200页
- 14.10 copy方法和带名参数——第201页
- 14.11 case语句中的中置表示法——第201页
- 14.12 匹配嵌套结构——第202页
- 14.13 样例类是邪恶的吗——第203页
- 14.14 密封类——第204页
- 14.15 模拟枚举——第205页
- 14.16　Option类型——第205页
- 14.17　偏函数 L2——第207页
- 练习——第207页

Chapter 14

Scala有一个十分强大的模式匹配机制，可以应用在很多场合：switch语句、类型查询，以及“析构”（获取复杂表达式中的不同部分）。除此之外，Scala还提供了样例类，对模式匹配进行了优化。

本章的要点包括：

- match表达式是一个更好的switch，不会有意外掉入到下一个分支的问题。
- 如果没有模式能够匹配，会抛出MatchError。可以用case _模式来避免。
- 模式可以包含一个随意定义的条件，称做守卫。
- 你可以对表达式的类型进行匹配；优先选择模式匹配而不是isInstanceOf/asInstanceOf。
- 你可以匹配数组、元组和样例类的模式，然后将匹配到的不同部分绑定到变量。
- 在for表达式中，不能匹配的情况会被安静地跳过。
- 样例类是编译器会为之自动产出模式匹配所需要的方法的类。
- 样例类继承层级中的公共超类应该是sealed的。
- 用Option来存放对于可能存在也可能不存在的值——这比null更安全。

14.1 更好的switch

以下是Scala中C风格switch语句的等效代码：

```
var sign = ...
val ch: Char = ...

ch match {
  case '+' => sign = 1
  case '-' => sign = -1
  case _ => sign = 0
}
```

与default等效的是捕获所有的case _模式。有这样一个捕获所有的模式是有好处的。如果没有模式能匹配，代码会抛出MatchError。

与switch语句不同，Scala模式匹配并不会有“意外掉入到下一个分支”的问题。（在C和其他类C语言中，你必须在每个分支的末尾显式地使用break语句来退出switch，否则你将掉入到下一个分支。这很烦人，也容易出错。）

说明： Peter van der Linden在他的颇具趣味性的书*Deep C Secrets*中提到了一个关于一组相当数量的C代码的研究报告，报告显示在97%的情况下这种掉入到下一分支的行为是不需要的。

与if类似，match也是表达式，而不是语句。前面的代码可以简化为：

```
sign = ch match {
  case '+' => 1
  case '-' => -1
  case _ => 0
}
```

你可以在match表达式中使用任何类型，而不仅仅是数字。例如：

```
color match {
  case Color.RED => ...
  case Color.BLACK => ...
  ...
}
```

14.2 守卫

假定我们想要扩展我们的示例以匹配所有数字。在C风格的switch语句中，你可以简单地添加多个case标签，例如case '0': case '1': ... case '9':。（当然了，你没法用省略号...而必须是显式地把所有10个case都写出来。）在Scala中，你需要给模式添加守卫，就像这样：

```
ch match {
  case '+' => sign = 1
  case '-' => sign = -1
  case _ if Character.isDigit(ch) => digit = Character.digit(ch, 10)
  case _ => sign = 0
}
```

守卫可以是任何Boolean条件。

注意模式总是从上往下进行匹配。如果带守卫的这个模式不能匹配，则捕获所有的模式（case _）会被用来尝试进行匹配。

14.3 模式中的变量

如果case关键字后面跟着一个变量名，那么匹配的表达式会被赋值给那个变量。例如：

```
str(i) match {
  case '+' => sign = 1
  case '-' => sign = -1
  case ch => digit = Character.digit(ch, 10)
}
```

你可以将case _看做是这个特性的一个特殊情况，只不过变量名是_罢了。

你可以在守卫中使用变量：

```
str(i) match {
  case ch if Character.isDigit(ch) => digit = Character.digit(ch, 10)
  ...
}
```

注意：变量模式可能会与常量表达式相冲突，例如：

```
import scala.math._
x match {
  case Pi => ...
  ...
}
```

Scala是如何知道Pi是常量，而不是变量的呢？背后的规则是，变量必须以小写字母开头。

如果你有一个小写字母开头的常量，则需要将它包在反引号中：

```
import java.io.File._
str match {
  case `pathSeparator` => ...
  ...
}
```

14.4 类型模式

你可以对表达式的类型进行匹配，例如：

```
obj match {
  case x: Int => x
  case s: String => Integer.parseInt(s)
  case _: BigInt => Int.MaxValue
  case _ => 0
}
```

在Scala中，我们更倾向于使用这样的模式匹配，而不是isInstanceOf操作符。

注意模式中的变量名。在第一个模式中，匹配到的值被当做Int绑到x；而在第二个模式中，值被当做String绑到s。这里不需要用asInstanceOf做类型转换！

注意：当你在匹配类型的时候，必须给出一个变量名。否则，你将会拿对象本身来进行匹配：

```
obj match {
```

```
  case _: BigInt => Int.MaxValue // 匹配任何类型为BigInt的对象
  case BigInt => -1 // 匹配类型为Class的BigInt对象
}
```

186

注意：匹配发生在运行期，Java虚拟机中泛型的类型信息是被擦掉的。因此，你不能用类型来匹配特定的Map类型。

```
case m: Map[String, Int] => ... // 别这样做!
```

你可以匹配一个通用的映射：

```
case m: Map[_, _] => ... // OK
```

但是，对于数组而言元素的类型信息是完好的。你可以匹配到Array[Int]。

14.5 匹配数组、列表和元组

要匹配数组的内容，可以在模式中使用Array表达式，就像这样：

```
arr match {
  case Array(0) => "0"
  case Array(x, y) => x + " " + y
  case Array(0, _*) => "0 ..."
  case _ => "something else"
}
```

第一个模式匹配包含0的数组。第二个模式匹配任何带有两个元素的数组，并将这两个元素分别绑定到变量x和y。第三个表达式匹配任何以零开始的数组。

你可以用同样的方式匹配列表，使用List表达式。或者，你也可以使用::操作符：

```
lst match {
  case 0 :: Nil => "0"
  case x :: y :: Nil => x + " " + y
  case 0 :: tail => "0 ..."
  case _ => "something else"
}
```

对于元组，可以在模式中使用元组表示法：

```
pair match {
  case (0, _) => "0 ..."
  case (y, 0) => y + " 0"
  case _ => "neither is 0"
}
```

187

和之前一样，请注意变量是如何绑到列表或元组的不同部分的。由于这种绑定让你可以很轻松地访问复杂结构的各组成部分，因此这样的操作被称为“析构”。

14.6 提取器

在前一节，你看到了模式是如何匹配数组、列表和元组的。这些功能背后是提取器（extractor）机制——带有从对象中提取值的unapply或unapplySeq方法的对象。这些方法的实现我们在第11章已经介绍过了。unapply方法用于提取固定数量的对象；而unapplySeq提取的是一个序列，可长可短。

例如下面这个表达式：

```
arr match {
  case Array(0, x) => ...
  ...
}
```

Array伴生对象就是一个提取器——它定义了一个unapplySeq方法。该方法被调用时，是以被执行匹配动作的表达式作为参数，而不是模式中看上去像是参数的表达式。Array.unapplySeq(arr)产出一个序列的值，即数组中的值。第一个值与零进行比较，而第二个值被赋值给x。

正则表达式是另一个适合使用提取器的场景。如果正则表达式有分组，你可以用提取器来匹配每个分组。例如：

```
val pattern = "([0-9]+) ([a-z]+)".r
"99 bottles" match {
  case pattern(num, item) => ...
    // 将num设为"99"，item设为"bottles"
}
```

pattern.unapplySeq("99 bottles")产出一系列匹配分组的字符串。这些字符串被分别赋值给了变量num和item。

注意，在这里提取器并非是一个伴生对象，而是一个正则表达式对象。

14.7 变量声明中的模式

在前一节，你看到了模式是可以带变量的。你也可以在变量声明中使用这样的模式。例如：

```
val (x, y) = (1, 2)
```

188

同时把x定义为1，把y定义为2。这对于使用那些返回对偶的函数而言很有用，例如：

```
val (q, r) = BigInt(10) /% 3
```

/%方法返回包含商和余数的对偶，而这两个值分别被变量q和r捕获到。

同样的语法也可以用于任何带有变量的模式。例如：

```
val Array(first, second, _*) = arr
```

上述代码将数组arr的第一个和第二个元素分别赋值给first和second。

14.8 for表达式中的模式

你可以在for推导式中使用带变量的模式。对每一个遍历到的值，这些变量都会被绑定。这使得我们可以方便地遍历映射：

```
import scala.collection.JavaConversions.propertiesAsScalaMap
  // 将Java的Properties转换成Scala映射——只是为了做出一个有意思的示例
for ((k, v) <- System.getProperties())
  println(k + " -> " + v)
```

对映射中的每一个(键, 值)对偶，k被绑定到键，而v被绑定到值。

在for推导式中，失败的匹配将被安静地忽略。举例来说，如下循环将打印出所有值为空白的键，跳过所有其他键：

```
for ((k, "") <- System.getProperties())
```

```
  println(k)
```

你也可以使用守卫。注意if关键字出现在<-之后：

```
for ((k, v) <- System.getProperties() if v == "")
  println(k)
```

14.9 样例类

样例类是一种特殊的类，它们经过优化以被用于模式匹配。在本例中，我们有两个扩展自常规（非样例）类的样例类：

```
abstract class Amount
case class Dollar(value: Double) extends Amount
case class Currency(value: Double, unit: String) extends Amount
```

你也可以有针对单例的样例对象：

189

```
case object Nothing extends Amount
```

当我们有一个类型为Amount的对象时，我们可以用模式匹配来匹配到它的类型，并将属性值绑定到变量：

```
amt match {
  case Dollar(v) => "$" + v
  case Currency(_, u) => "Oh noes, I got " + u
  case Nothing => ""
}
```

说明：样例类的实例使用()，样例对象不使用圆括号。

当你声明样例类时，有如下几件事自动发生。

- 构造器中的每一个参数都成为val——除非它被显式地声明为var（不建议这样做）。
- 在伴生对象中提供apply方法让你不用new关键字就能构造出相应的对象，比如Dollar(29.95)或Currency(29.95, "EUR")。
- 提供unapply方法让模式匹配可以工作——详情参照第11章。（如果只是使用样

例类来做模式匹配，则你并不真正需要掌握这些细节。）

- 将生成toString、equals、hashCode和copy方法——除非显式地给出这些方法的定义。

除上述外，样例类和其他类完全一样。你可以添加方法和字段，扩展它们，等等。

14.10 copy方法和带名参数

样例类的copy方法创建一个与现有对象值相同的新对象。例如：

```
val amt = Currency(29.95, "EUR")
val price = amt.copy()
```

这个方法本身并不是很有用——毕竟，Currency对象是不可变的，我们完全可以共享这个对象引用。不过，你可以用带名参数来修改某些属性：

```
val price = amt.copy(value = 19.95) // Currency(19.95, "EUR")
```

或者

```
val price = amt.copy(unit = "CHF") // Currency(29.95, "CHF")
```

190

14.11 case语句中的中置表示法

如果unapply方法产出一个对偶，则你可以在case语句中使用中置表示法。尤其是，对于有两个参数的样例类，你可以使用中置表示法来表示它。例如：

```
amt match { case a Currency u => ... } // 等同于 case Currency(a, u)
```

当然，这是个挺傻的例子。这个特性的本意是要匹配序列。举例来说，每个List对象要么是Nil，要么是样例类::，定义如下：

```
case class ::[E](head: E, tail: List[E]) extends List[E]
```

因此，你可以这样写：

```
lst match { case h :: t => ... }
  // 等同于case ::(h, t)，将调用::.unapply(lst)
```

在第19章中，你将会看到用于将解析结果组合在一起的~样例类。它的本意同样是以中置表达式的形式用于case语句：

```
result match { case p ~ q => ... } // 等同于 case ~(p, q)
```

当你把多个中置表达式放在一起的时候，它们会更易读。例如：

```
result match { case p ~ q ~ r => ... }
```

这样的写法要好过 ~(~(p, q), r)。

如果操作符以冒号结尾，则它是从右向左结合的。例如：

```
case first :: second :: rest
```

上述代码的意思是：

```
case ::(first, ::(second, rest))
```

说明：中置表示法可用于任何返回对偶的unapply方法。以下是一个示例：

```
case object +: {
  def unapply[T](input: List[T]) =
    if (input.isEmpty) None else Some((input.head, input.tail))
}
```

这样一来你就可以用+:来析构列表了：

```
1 +: 7 +: 2 +: 9 +: Nil match {
  case first +: second +: rest => first + second + rest.length
}
```

191

14.12 匹配嵌套结构

样例类经常被用于嵌套结构。例如，某个商店售卖的物品。有时，我们会将物品捆绑在一起打折出售。

```
abstract class Item
case class Article(description: String, price: Double) extends Item
case class Bundle(description: String, discount: Double, items: Item*) extends Item
```

因为不用使用new，所以我们可以很容易地给出嵌套对象定义：

```
Bundle("Father's day special", 20.0,
```

```
Article("Scala for the Impatient", 39.95),
Bundle("Anchor Distillery Sampler", 10.0,
  Article("Old Potrero Straight Rye Whisky", 79.95),
  Article("Junipero Gin", 32.95)))
```

模式可以匹配到特定的嵌套，比如：

```
case Bundle(_, _, Article(descr, _), _*) => ...
```

上述代码将descr绑定到Bundle的第一个Article的描述。

你也可以用@表示法将嵌套的值绑到变量：

```
case Bundle(_, _, art @ Article(_, _), rest @ _*) => ...
```

这样一来，art就是Bundle中的第一个Article，而rest则是剩余Item的序列。

注意，在本例中，_*是必需的。以下模式

```
case Bundle(_, _, art @ Article(_, _), rest) => ...
```

将只能匹配到那种只有一个Article再加上不多不少正好一个Item的Bundle，而这个Item将被绑定到rest变量。

作为该特性的一个实际应用，以下是一个计算某Item价格的函数：

```
def price(it: Item): Double = it match {
  case Article(_, p) => p
  case Bundle(_, disc, its @ _*) => its.map(price _).sum - disc
}
```

14.13 样例类是邪恶的吗

前一节的示例可能会激怒那些追求OO纯正性的人们。price不应该是超类的方法吗？不应该由每个子类重写它吗？多态不会比针对每个类型做switch来得更好吗？

在很多情况下，这是对的。如果有人想到另一种Item，就需要重新回顾所有match语句。在这样的时候，样例类并不是适合的方案。 192

样例类适用于那种标记不会改变的结构。举例来说，Scala的List就是用样例类实现的。稍微简化掉一些细节，列表从本质上说就是：

```
abstract class List
```

```
case object Nil extends List
case class ::(head: Any, tail: List) extends List
```

列表要么是空的，要么有一头一尾（尾部可能是空的，也可能是非空的）。没人会增加出一个新的样例。（在下一节你将会看到如何阻止别人这样做。）

当用在合适的地方时，样例类是十分便捷的，原因如下：

- 模式匹配通常比继承更容易把我们引向更精简的代码。
- 构造时不需要用new的复合对象更加易读。
- 你将免费得到toString、equals、hashCode和copy方法。

这些自动生成的方法所做的事和你想的一样——打印、比较、哈希，以及拷贝所有字段。关于copy方法的更多信息参见14.10节。

对于某些特定种类的类，样例类提供给你的是完全正确的语义。有人将它们称做*值类*。例如下面的Currency类：

```
case class Currency(value: Double, unit: String)
```

一个Currency(10, "EUR")和任何其他Current(10, "EUR")都是等效的，这也是equals和hashCode方法实现的依据。这样的类通常也都是不可变的。

那些带有可变字段的样例类比较可疑，至少从哈希码这方面来看是这样的。对于可变类，我们应该总是从那些不会被改变的字段来计算和得出其哈希码，比如用ID字段。

注意：对于那些扩展其他样例类的样例类而言，toString、equals、hashCode和copy方法不会被生成。如果你有一个样例类继承自其他样例类，你将得到一个编译器警告。Scala的未来版本可能会完全禁止这样的继承关系。如果你需要多层次的继承来将样例类的通用行为抽象到样例类外部的话，请只把继承树的叶子部分做成样例类。

14.14 密封类

当你用样例类来做模式匹配时，你可能想让编译器帮你确保你已经列出了所有可能的选择。要达到这个目的，你需要将样例类的通用超类声明为*sealed*：

```
sealed abstract class Amount
case class Dollar(value: Double) extends Amount
case class Currency(value: Double, unit: String) extends Amount
```

密封类的所有子类都必须在与该密封类相同的文件中定义。举例来说，如果有人想要为欧元添加另一个样例类：

```
case class Euro(value: Double) extends Amount
```

他们必须在Amount被声明的那个文件中完成。

如果某个类是密封的，那么在编译期所有子类就是可知的，因而编译器可以检查模式语句的完整性。让所有（同一组）样例类都扩展某个密封的类或特质是个好的做法。

14.15 模拟枚举

样例类让你可以在Scala中模拟出枚举类型。

```
sealed abstract class TrafficLightColor
case object Red extends TrafficLightColor
case object Yellow extends TrafficLightColor
case object Green extends TrafficLightColor

color match {
  case Red => "stop"
  case Yellow => "hurry up"
  case Green => "go"
}
```

注意超类被声明为sealed，让编译器可以帮我们检查match语句是否完整。

如果你觉得这样的实现方式有些过重，你也可以使用我们在第6章中介绍过的Enumeration助手类。

14.16 Option类型

标准类库中的Option类型用样例类来表示那种可能存在、也可能不存在的值。样例

子类Some包装了某个值，例如：Some("Fred")。而样例对象None表示没有值。

这比使用空字符串的意图更加清晰，比使用null来表示缺少某值的做法更加安全。

Option支持泛型。举例来说，Some("Fred")的类型为Option[String]。

Map类的get方法返回一个Option。如果对于给定的键没有对应的值，则get返回None。如果有值，就会将该值包在Some中返回。

194

你可以用模式匹配来分析这样一个值。

```
scores.get("Alice") match {
  case Some(score) => println(score)
  case None => println("No score")
}
```

不过老实说，这很烦琐。或者你也可以使用isEmpty和get：

```
val alicesScore = scores.get("Alice")
if (alicesScore.isEmpty) println("No score")
else println(alicesScore.get)
```

这也很烦琐。用getOrElse方法会更好：

```
println(alicesScore.getOrElse("No score"))
```

如果alicesScore为None，getOrElse将返回"No score"。实际上，由于这是个十分普遍的情况，Map类也提供了getOrElse方法：

```
println(scores.getOrElse("Alice", "No score"))
```

如果你想略过None值，可以用for推导式：

```
for (score <- scores.get("Alice")) println(score)
```

如果get方法返回None，什么都不会发生。如果返回Some，则score将被绑定到它的内容。

你也可以将Option当做是一个要么为空、要么带有单个元素的集合，并使用诸如map、foreach或filter等方法。例如：

```
scores.get("Alice").foreach(println _)
```

上述代码将打印分数，或者如果get返回None的话，什么也不做。

14.17 偏函数 L2

被包在花括号内的一组case语句是一个*偏函数*——一个并非对所有输入值都有定义的函数。它是PartialFunction[A, B]类的一个实例。（A是参数类型，B是返回类型。）该类有两个方法：apply方法从匹配到的模式计算函数值，而isDefinedAt方法在输入至少匹配其中一个模式时返回true。

例如：

```
val f: PartialFunction[Char, Int] = { case '+' => 1 ; case '-' => -1 }
f('-') // 调用f.apply('-')，返回-1
f.isDefinedAt('0') // false
f('0') // 抛出MatchError
```

195

有一些方法接受PartialFunction作为参数。举例来说，GenTraversable特质的collect方法将一个偏函数应用到所有在该偏函数有定义的元素，并返回包含这些结果的序列。

```
"-3+4".collect { case '+' => 1; case '-' => -1 } // Vector(-1, 1)
```

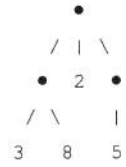
说明：偏函数表达式必须位于编译器可以推断出返回类型的上下文中。当你把它赋值给一个带有类型声明的变量，或者将它作为参数传递时，都符合这个要求。

练习

1. JDK发行包有一个src.zip文件包含了JDK的大多数源代码。解压并搜索样例标签（用正则表达式case [^:]+:）。然后查找以//开头并包含[Ff]alls? thr的注释，捕获类似 // Falls through或// just fall thru这样的注释。假定JDK的程序员们遵守Java编码习惯，在该写注释的地方写下了这些注释，有多少百分比的样例是会掉入到下一分支的？
2. 利用模式匹配，编写一个swap函数，接受一个整数的对偶，返回对偶的两个组成部件互换位置的新对偶。
3. 利用模式匹配，编写一个swap函数，交换数组中前两个元素的位置，前提条件

是数组长度至少为2。

4. 添加一个样例类Multiple，作为Item类的子类。举例来说，Multiple(10, Article("Blackwell Toster", 29.95))描述的是10个烤面包机。当然了，你应该可以在第二个参数的位置接受任何Item，不论是Bundle还是另一个Multiple。扩展price函数以应对这个新的样例。
5. 我们可以用列表制作只在叶子节点存放值的树。举例来说，列表((3 8) 2 (5))描述的是如下这样一棵树：



不过，有些列表元素是数字，而另一些是列表。在Scala中，你不能拥有异构的列表，因此你必须使用List[Any]。编写一个leafSum函数，计算所有叶子节点中的元素之和，用模式匹配来区分数字和列表。

196 6. 制作这样的树更好的做法是使用样例类。我们不妨从二叉树开始。

```
sealed abstract class BinaryTree
case class Leaf(value: Int) extends BinaryTree
case class Node(left: BinaryTree, right: BinaryTree) extends BinaryTree
```

编写一个函数计算所有叶子节点中的元素之和。

7. 扩展前一个练习中的树，使得每个节点可以有任意多的后代，并重新实现leafSum函数。第5题中的树应该能够通过下述代码表示：

```
Node(Node(Leaf(3), Leaf(8)), Leaf(2), Node(Leaf(5)))
```

8. 扩展前一个练习中的树，使得每个非叶子节点除了后代之外，能够存放一个操作符。然后编写一个eval函数来计算它的值。举例来说：

上面这棵树的值为 $(3 \times 8) + 2 + (-5) = 21$

9. 编写一个函数，计算List[Option[Int]]中所有非None值之和。不得使用match语句。

10. 编写一个函数，将两个类型为Double => Option[Double]的函数组合在一起，产生另一个同样类型的函数。如果其中一个函数返回None，则组合函数也应返回None。例如：

```
def f(x: Double) = if (x >= 0) Some(sqrt(x)) else None
def g(x: Double) = if (x != 1) Some(1 / (x - 1)) else None
val h = compose(f, g)
```

h(2)将得到Some(1)，而h(1)和h(0)将得到None。

197

第15章　注　　解

本章的主题 A2

- 15.1　什么是注解——第212页
- 15.2　什么可以被注解——第212页
- 15.3　注解参数——第213页
- 15.4　注解实现——第214页
- 15.5　针对Java特性的注解——第216页
- 15.6　用于优化的注解——第219页
- 15.7　用于错误和警告的注解——第223页
- 练习——第224页

Chapter 15

注解让你可以在程序中的各项条目添加信息。这些信息可以被编译器或外部工具处理。在本章中，你将学习如何与Java注解实现互操作，以及如何使用Scala特有的注解。

本章的要点包括：

- 你可以为类、方法、字段、局部变量、参数、表达式、类型参数以及各种类型定义添加注解。
- 对于表达式和类型，注解跟在被注解的条目之后。
- 注解的形式有 @Annotation、@Annotation(value)或@Annotation(name1 = value1, …)。
- @volatile、@transient、@strictfp和@native分别生成等效的Java修饰符。
- 用@throws来生成与Java兼容的throws规格说明。
- @tailrec注解让你校验某个递归函数使用了尾递归优化。
- assert函数利用了@elidable注解。你可以选择从Scala程序中移除所有断言。
- 用@deprecated注解来标记已过时的特性。

15.1 什么是注解

注解是那些你插入到代码中以便有工具可以对它们进行处理的标签。工具可以在代码级别运作，也可以处理被编译器加入了注解信息的类文件。

注解在Java中被广泛使用，例如像JUnit 4这样的测试工具，以及企业级技术比如JavaEE。

注解的语法和Java一样。例如：

```
@Test(timeout = 100) def testSomeFeature() { ... }

@Entity class Credentials {
  @Id @BeanProperty var username : String = _
  @BeanProperty var password : String = _
}
```

你可以对Scala类使用Java注解。上述示例中的注解（除了@BeanProperty）来自JUnit和JPA，而这两个Java框架并不知道我们用的是Scala。

你也可以用Scala注解。这些注解是Scala特有的，通常由Scala编译器或编译器插件处理。

说明：实现编译器插件是一项艰巨的任务，本书就不做介绍了——相关内容参见 www.scala-lang.org/node/140 。

Java注解并不影响编译器如何将源码翻译成字节码；它们仅仅是往字节码中添加数据，以便外部工具可以利用到它们。而在Scala中，注解可以影响编译过程。举例来说，你在第5章看到过的@BeanProperty注解将触发getter和setter方法的生成。

15.2 什么可以被注解

在Scala中，你可以为类、方法、字段、局部变量和参数添加注解，就和Java一样。

```
@Entity class Credentials
@Test def testSomeFeature() {}
@BeanProperty var username = _
```

```
def doSomething(@NotNull message: String) {}
```

你也可以同时添加多个注解。先后次序没有影响。

```
@BeanProperty @Id var username = _
```

200

在给主构造器添加注解时，你需要将注解放置在构造器之前，并加上一对圆括号（如果注解不带参数的话）。

```
class Credentials @Inject() (var username: String, var password: String)
```

你还可以为表达式添加注解。你需要在表达式后加上冒号，然后是注解本身，例如：

```
(myMap.get(key): @unchecked) match { ... }
  // 我们为表达式myMap.get(key)添加了注解
```

你可以为类型参数添加注解：

```
class MyContainer[@specialized T]
```

针对实际类型的注解应放置在类型名称之后，就像这样：

```
String @cps[Unit] // @cps带一个类型参数
```

在这里，我们为String类型添加了注解。（我们将在第22章介绍@cps注解。）

15.3 注解参数

Java注解可以有带名参数，比如：

```
@Test(timeout = 100, expected = classOf[IOException])
```

不过，如果参数名为value，则该名称可以直接略去。例如：

```
@Named("creds") var credentials: Credentials = _
  // value参数的值为"creds"
```

如果注解不带参数，则圆括号可以略去：

```
@Entity class Credentials
```

大多数注解参数都有缺省值。举例来说，JUnit的@Test注解的timeout参数有一个缺

省的值0，表示没有超时。而expected参数有一个假的缺省类来表示不预期任何异常。如果你用如下代码：

```
@Test def testSomeFeature() { ... }
```

这个注解写法等同于：

```
@Test(timeout = 0, expected = classOf[org.junit.Test.None])
def testSomeFeature() { ... }
```

Java注解的参数类型只能是：

- 数值型的字面量
- 字符串
- 类字面量
- Java枚举
- 其他注解
- 上述类型的数组（但不能是数组的数组）

201

Scala注解的参数可以是任何类型，但只有少数几个Scala注解利用了这个增加出来的灵活性。举例来说，@deprecatedName注解有一个类型为Symbol的参数。

15.4 注解实现

我并不觉得本书的很多读者会有很强的意愿和必要去实现他们自己的Scala注解。本节的主旨是为了让大家能够明白已有注解类是如何实现的。

注解必须扩展Annotation特质。例如，unchecked注解定义如下：

```
class unchecked extends annotation.Annotation
```

注解类可以选择扩展StaticAnnotation或ClassfileAnnotation特质。StaticAnnotation在编译单元中可见——它将放置Scala特有的元数据到类文件中。而ClassfileAnnotation的本意是在类文件中生成Java注解元数据。不过，Scala 2.9中并未支持该特性。

注意：如果你想要实现一个新的Java注解，则需要用Java来编写该注解类。当然了，你是可以在Scala类中使用该注解的。

通常而言，注解的作用是描述那些被注解的表达式、变量、字段、方法、类或类型。举例来说，如下注解

```
def check(@NotNull password: String)
```

是针对参数变量password的。

不过，Scala的字段定义可能会引出多个Java特性，而它们都有可能被添加注解。举例来说，有如下定义：

```
class Credentials(@NotNull @BeanProperty var username: String)
```

在这里，总共有六个可以被注解的目标：

- 构造器参数
- 私有的示例字段
- 取值器方法username
- 改值器方法username_=
- bean取值器getUsername
- bean改值器setUsername

202

默认情况下，构造器参数注解仅会被应用到参数自身，而字段注解只能应用到字段。元注解@param、@field、@getter、@setter、@beanGetter和@beanSetter将使得注解被附在别处。举例来说，deprecated注解的定义如下：

```
@getter @setter @beanGetter @beanSetter
class deprecated(message: String = "", since: String = "")
  extends annotation.StaticAnnotation
```

你也可以临时根据需要应用这些元注解：

```
@Entity class Credentials {
  @(Id @beanGetter) @BeanProperty var id = 0
  ...
}
```

在这种情况下，@Id注解将被应用到Java的getId方法，这是JPA要求的方法，用来访问属性字段。

15.5 针对Java特性的注解

Scala类库提供了一组用于与Java互操作的注解。我们将在下面的小节中介绍这些注解。

15.5.1 Java修饰符

对于那些不是很常用的Java特性，Scala使用注解，而不是修饰符关键字。

@volatile注解将字段标记为易失的：

```
@volatile var done = false // 在JVM中将成为volatile的字段
```

一个易失的字段可以被多个线程同时更新。

@transient注解将字段标记为瞬态的：

```
@transient var recentLookups = new HashMap[String, String]
  // 在JVM中将成为transient的字段
```

瞬态的字段不会被序列化。这对于需要临时保存的缓存数据，或者是能够很容易地重新计算的数据而言是合理的。

203

@strictfp注解对应Java中的strictfp修饰符：

```
@strictfp def calculate(x: Double) = ...
```

该方法使用IEEE的double值来进行浮点运算，而不是使用80位扩展精度（Intel处理器默认使用的实现）。计算结果会更慢，但代码可移植性更高。

@native注解用来标记那些在C或C++代码中实现的方法。对应Java中的native修饰符。

```
@native def win32RegKeys(root: Int, path: String): Array[String]
```

15.5.2 标记接口

Scala用注解@cloneable和@remote而不是Cloneable和java.rmi.Remote标记接口来标记可被克隆的和远程的对象。

```
@cloneable class Employee
```

注意：@serializable注解已经过时。请扩展scala.Serializable特质。

对于可序列化的类，你可以用@SerialVersionUID注解来指定序列化版本：

```
@SerialVersionUID(6157032470129070425L)
class Employee extends Person with Serializable
```

说明：如果你需要了解更多关于诸如易失字段、克隆或序列化等Java概念的信息，可参见C. Horstmann和G. Cornell合著的《Java核心技术（第8版）》（Sun Microsystems出版社，2008年出版）。

15.5.3 受检异常

和Scala不同，Java编译器会跟踪受检异常。如果你从Java代码中调用Scala的方法，其签名应包含那些可能被抛出的受检异常。用@throws注解来生成正确的签名。例如：

```
class Book {
  @throws(classOf[IOException]) def read(filename: String) { ... }
  ...
}
```

Java版的签名为：

```
void read(String filename) throws IOException
```

如果没有@throws注解，Java代码将不能捕获该异常。

```
try { // 这是Java代码
  book.read("war-and-peace.txt");
} catch (IOException ex) {
  ...
}
```

Java编译器需要知道read方法可以抛IOException，否则会拒绝捕获该异常。

15.5.4 变长参数

@varargs注解让你可以从Java调用Scala的带有变长参数的方法。默认情况下，如果

你给出如下方法：

```
def process(args: String*)
```

Scala编译器将会把变长参数翻译成序列：

```
def process(args: Seq[String])
```

这样的方法签名在Java中使用起来很费劲。如果你加上@varargs：

```
@varargs def process(args: String*)
```

则编译器将生成如下Java方法：

```
void process(String... args) // Java桥接方法
```

该方法将args数组包装在Seq中，然后调用那个实际的Scala方法。

15.5.5 JavaBeans

你在第5章见到过@BeanProperty注解。如果你给字段添加上@scala.reflect.BeanProperty注解，编译器将生成JavaBeans风格的getter和setter方法。例如：

```
class Person {
  @BeanProperty var name: String = _
}
```

上述定义除了生成Scala版的getter和setter，还将生成如下方法：

```
getName() : String
setName(newValue: String) : Unit
```

205

@BooleanBeanProperty生成带有is前缀的getter方法，用于Boolean。

说明：@BeanDescription、@BeanDisplayName、@BeanInfo和@BeanInfoSkip注解让你控制某些JavaBeans规范中不那么常用的特性。很少有程序员需要关心这些内容。如果你真的需要，则可以从Scaladoc的描述中了解到如何使用。

15.6 用于优化的注解

Scala类库中有些注解可以控制编译器优化。我们将在下面的小节中介绍这些注解。

15.6.1 尾递归

递归调用有时能被转化成循环，这样能节约栈空间。在函数式编程中，这是很重要的，我们通常会使用递归方法来遍历集合。

考虑如下用递归计算整数序列之和的方法：

```
object Util {
  def sum(xs: Seq[Int]): BigInt =
    if (xs.isEmpty) 0 else xs.head + sum(xs.tail)
  ...
}
```

该方法无法被优化，因为计算过程的最后一步是加法，而不是递归调用。不过稍微调整变换一下就可以被优化了：

```
def sum2(xs: Seq[Int], partial: BigInt): BigInt =
  if (xs.isEmpty) partial else sum2(xs.tail, xs.head + partial)
```

部分和被作为参数传递；用sum2(xs, 0)的方式调用该方法。由于计算过程的最后一步是递归地调用同一个方法，因此它可以被变换成跳回到方法顶部的循环。Scala编译器会自动对第二个方法应用“尾递归”优化。如果你调用

```
sum(1 to 1000000)
```

你会得到一个栈溢出错误（至少对于缺省栈大小的JVM而言是这样），不过

```
sum2(1 to 1000000, 0)
```

将返回序列之和500000500000。

尽管Scala编译器会尝试使用尾递归优化，但有时候某些不太明显的原因会造成它无法这样做。如果你有赖于编译器来帮你去掉递归，则应该给你的方法加上@tailrec注解。这样一来，如果编译器无法应用该优化，它就会报错。

206

举例来说，假定sum2方法位于某个类而不是某个对象当中：

```
class Util {
  @tailrec def sum2(xs: Seq[Int], partial: BigInt): BigInt =
    if (xs.isEmpty) partial else sum2(xs.tail, xs.head + partial)
  ...
}
```

现在这个程序编译就会失败，错误提示为："could not optimize @tailrec annotated method sum2: it is neither private nor final so can be overriden"。在这种情况下，你可以将方法挪到对象中，或者也可以将它声明为private或final。

说明：对于消除递归，一个更加通用的机制叫做"蹦床"。蹦床的实现会执行一个循环，不停地调用函数。每一个函数都返回下一个将被调用的函数。尾递归在这里是一个特例，每个函数都返回它自己。而更通用的版本允许相互调用——参见后面的示例。

Scala有一个名为TailCalls的工具对象，帮助我们轻松地实现蹦床。相互递归的函数返回类型为TailRec[A]，要么返回done(result)，要么返回tailcall(fun)，其中fun是下一个被调用的函数。这必须是一个不带额外参数且同样返回TailRec[A]的函数。以下是一个简单的示例：

```
import scala.util.control.TailCalls._
def evenLength(xs: Seq[Int]): TailRec[Boolean] =
  if (xs.isEmpty) done(true) else tailcall(oddLength(xs.tail))
def oddLength(xs: Seq[Int]): TailRec[Boolean] =
  if (xs.isEmpty) done(false) else tailcall(evenLength(xs.tail))
```

要从TailRec对象获取最终结果，可以用result方法：

```
evenLength(1 to 1000000).result
```

15.6.2 跳转表生成与内联

在C++或Java中，switch语句通常可以被编译成跳转表，这比起一系列的if/else表达式要更加高效。Scala也会尝试对匹配语句生成跳转表。@switch注解让你检查Scala的match语句是不是真的被编译成了跳转表。将注解应用到match语句前的表达式：

```
(n: @switch) match {
  case 0 => "Zero"
  case 1 => "One"
  case _ => "?"
}
```

另一个常见的优化是方法内联——将方法调用语句替换为被调用的方法体。你可以将方法标记为@inline来建议编译器做内联，或标记为@noinline来告诉编译器不要内联。通常，内联的动作发生在JVM内部，它的“即时”编译器不需要我们用注解告诉它该怎么做，也能有很好的效果。你可以用@inline和@noinline来告诉Scala编译器要不要内联，如果你认为有这个必要的话。

15.6.3 可省略方法

@elidable注解给那些可以在生产代码中移除的方法打上标记。例如：

```
@elidable(500) def dump(props: Map[String, String]) { ... }
```

如果你用如下命令编译：

```
scalac -Xelide-below 800 myprog.scala
```

则上述方法代码不会被生成。elidable对象定义了如下数值常量：

- MAXIMUM 或 OFF = Int.MaxValue
- ASSERTION = 2000
- SEVERE = 1000
- WARNING = 900
- INFO = 800
- CONFIG = 700
- FINE = 500
- FINER = 400
- FINEST = 300
- MINIMUM 或 ALL = Int.MinValue

你可以在注解中使用这些常量：

```
import scala.annotation.elidable._
@elidable(FINE) def dump(props: Map[String, String]) { ... }
```

你也可以在命令行中使用这些名称：

208

```
scalac -Xelide-below INFO myprog.scala
```

如果不指定-Xelide-below标志，那些被注解的值低于1000的方法会被省略，剩下SEVERE的方法和断言，但会去掉所有警告。

说明： ALL和OFF级别可能会让人感到困惑。注解@elide(ALL)表示方法总是被省略，而@elide(OFF)表示方法永不被省略。但-Xelide-below OFF的意思是要省略所有方法，而-Xelide-below ALL的意思是什么都不要省略。这就是后来又增加了MAXIMUM和MINIMUM的原因。

Predef模块定义了一个可被忽略的assert方法。例如，我们可以写：

```
def makeMap(keys: Seq[String], values: Seq[String]) = {
  assert(keys.length == values.length, "lengths don't match")
  ...
}
```

如果我们用不匹配的两个参数来调用该方法，则assert方法将抛出AssertionError，报错消息为“assertion failed: lengths don't match”。

如果要禁用断言，可以用-Xelide-below 2001 或 -Xelide-below MAXIMUM。注意在缺省情况下断言不会被禁用。相比Java断言，这是个受欢迎的改进。

注意： 对被省略的方法调用，编译器会帮我们替换成Unit对象。如果你用到了被省略方法的返回值，则一个ClassCastException会被抛出。最好只对那些没有返回值的方法使用@elidable注解。

15.6.4 基本类型的特殊化

打包和解包基本类型的值是不高效的——但在泛型代码中这很常见。考虑如下示例：

```
def allDifferent[T](x: T, y: T, z: T) = x != y && x != z && y != z
```

如果你调用allDifferent(3, 4, 5)，在方法被调用之前，每个整数值都被包装成一个java.lang.Integer。当然了，我们可以给出一个重载的版本

```
def allDifferent(x: Int, y: Int, z: Int) = ...
```

以及其他七个方法，分别对应其他基本类型。

你可以让编译器自动生成这些方法，具体做法就是给类型参数添加@specialized注解：

```
def allDifferent[@specialized T](x: T, y: T, z: T) = ...
```

209

你可以将特殊化限定在所有可选类型的子集：

```
def allDifferent[@specialized(Long, Double) T](x: T, y: T, z: T) = ...
```

在注解构造器中，你可以指定如下类型的任意子集：Unit、Boolean、Byte、Short、Char、Int、Long、Float、Double。

15.7 用于错误和警告的注解

如果你给某个特性加上了@deprecated注解，则每当编译器遇到对这个特性的使用时都会生成一个警告信息。该注解有两个选填参数，message和since。

```
@deprecated(message = "Use factorial(n: BigInt) instead")
def factorial(n: Int): Int = ...
```

@deprecatedName可以被应用到参数上，并给出一个该参数之前使用过的名称。

```
def draw(@deprecatedName('sz) size: Int, style: Int = NORMAL)
```

你仍然可以调用 draw(sz = 12)，不过你将会得到一个表示该名称已过时的警告。

说明：这里的构造器参数是一个**符号**——以单引号开头的名称。名称相同的符号一定是唯一的。符号比字符串效率更高。它们的==方法用引用是否相同来判断相等性，而字符串的==方法需要比对内容。更重要的是，在语义上两者有着显著区别：符号表示的是程序中某个项目的名称。

@implicitNotFound注解用于在某个隐式参数不存在的时候生成有意义的错误提示。细节参见第21章。

@unchecked注解用于在匹配不完整时取消警告信息。举例来说，假定我们知道某个列表不可能是空的：

```
(lst: @unchecked) match {
  case head :: tail => ...
}
```

编译器不会报告说我没给出Nil选项。当然了，如果lst的确是Nil，在运行期会抛异常。

@uncheckedVariance注解会取消与型变相关的错误提示。举例来说，java.util.Comparator按理应该是逆变的。如果Student是Person的子类型，那么在需要
210
Comparator[Student]时，我们也可以用Comparator[Person]。但是，Java的泛型不支持型变。我们可以通过@uncheckedVariance注解来解决这个问题：

```
trait Comparator[-T] extends
  java.lang.Comparator[T @uncheckedVariance]
```

练习

1. 编写四个JUnit测试案例，分别使用带或不带某个参数的@Test注解。用JUnit执行这些测试。
2. 创建一个类的示例，展示注解可以出现的所有位置。用@deprecated作为你的示例注解。
3. Scala类库中的哪些注解用到了元注解@param、@field、@getter、@setter、@beanGetter或@beanSetter?
4. 编写一个Scala方法sum，带有可变长度的整型参数，返回所有参数之和。从Java调用该方法。
5. 编写一个返回包含某文件所有行的字符串的方法。从Java调用该方法。
6. 编写一个Scala对象，该对象带有一个易失（volatile）的Boolean字段。让某一个线程睡眠一段时间，之后将该字段设为true，打印消息，然后退出。而另一个线程不停地检查该字段是否为true。如果是，它将打印一个消息并退出。如果不是，它将短暂睡眠，然后重试。如果变量不是易失的，会发生什么?

7. 给出一个示例，展示如果方法可被重写，则尾递归优化为非法。
8. 将allDifferent方法添加到对象，编译并检查字节码。@specialized注解产生了哪些方法？
9. Range.foreach方法被注解为@specialized(Unit)。为什么？通过以下命令检查字节码：

```
javap -classpath /path/to/scala/lib/scala-library.jar
  scala.collection.immutable.Range
```

并考虑Function1上的@specialized注解。点击Scaladoc中的Function1.scala链接进行查看。

10. 添加assert(n >= 0)到factorial方法。在启用断言的情况下编译并校验factorial(-1)会抛异常。在禁用断言的情况下编译。会发生什么？用javap检查该断言调用。 211

第16章　XML处理

本章的主题 A2

- 16.1　XML字面量——第228页
- 16.2　XML节点——第228页
- 16.3　元素属性——第230页
- 16.4　内嵌表达式——第231页
- 16.5　在属性中使用表达式——第232页
- 16.6　特殊节点类型——第233页
- 16.7　类XPath表达式——第234页
- 16.8　模式匹配——第235页
- 16.9　修改元素和属性——第236页
- 16.10 XML变换——第237页
- 16.11 加载和保存——第238页
- 16.12 命名空间——第241页
- 练习——第242页

Chapter 16

Scala提供了对XML字面量的内建支持，让我们可以很容易地在程序代码中生成XML片段。Scala类库包含了对XML常用处理任务的支持。在本章中，你将会学习到如何使用这些特性来读取、分析、创建和编写XML。

本章的要点包括：

- XML字面量<like>this</like>的类型为NodeSeq。
- 你可以在XML字面量中内嵌Scala代码。
- Node的child属性产出后代节点。
- Node的attributes属性产出包含节点属性的MetaData对象。
- \和\\操作符执行类XPath匹配。
- 你可以在case语句中使用XML字面量匹配节点模式。
- 使用带有RewriteRule示例的RuleTransformer来变换某个节点的后代。
- XML对象利用Java的XML相关方法实现XML文件的加载和保存。
- ConstructingParser是另一个可以使用的解析器，它会保留注释和CDATA节。

16.1 XML字面量

Scala对XML有内建支持。你可以定义XML字面量，直接用XML代码即可：

```
val doc = <html><head><title>Fred's Memoirs</title></head><body>...</body></html>
```

这样一来，doc就成了类型为scala.xml.Elem的值，表示一个XML元素。

XML字面量也可以是一系列的节点。例如：

```
val items = <li>Fred</li><li>Wilma</li>
```

上述代码将产出scala.xml.NodeSeq。我们将在16.2节详细介绍Elem和NodeSeq类。

注意：有时，编译器会错误地识别出XML字面量，而并非开发人员的本意。例如：

```
val (x, y) = (1, 2)
x < y // OK
x <y // 错误——未结束的XML字面量。
```

在本例中，解决方法是在<后添加一个空格。

16.2 XML节点

Node类是所有XML节点类型的祖先。它的两个最重要的子类是Text和Elem。后面的图16-1展示了完整的继承层级。

Elem类描述的是XML元素，比如：

```
val elem = <a href="http://scala-lang.org">The <em>Scala</em> language</a>
```

label属性产出标签名称（这里是"a"），而child对应的是后代的序列（在本例中是两个Text节点和一个ELem节点）。

节点序列的类型为NodeSeq，它是Seq[Node]的子类型，加入了对类XPath操作的支持（参见16.7节）。你可以对XML节点序列使用任何我们在第13章介绍的Seq操作。要遍历节点序列，只需要简单地使用for循环即可，例如：

```
for (n <- elem.child) 处理 n
```

说明： Node类扩展自NodeSeq。单个节点等同于长度为1的序列。这样设计的本意是为了更加方便地处理那些既能返回单个节点也能返回一系列节点的函数。（这样的设计实际上带来的问题并不比它解决的问题少，因此我并不建议在你的设计中使用它。）

对于XML注释（<!-- … -->）、实体引用（&...;）和处理指令（<? … ?>），也分别有节点类与之对应。图16-1给出了所有的节点类型。

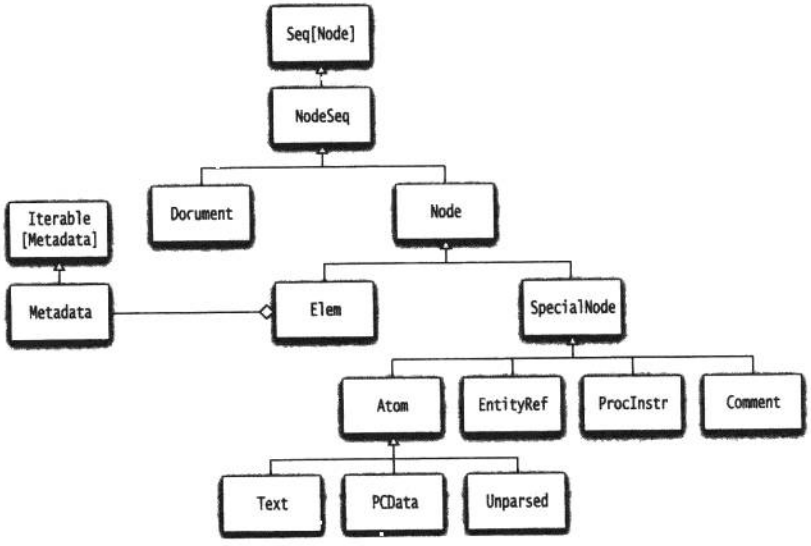


图16-1 XML节点类型

如果你通过编程的方式构建节点序列，则可以使用NodeBuffer，它是ArrayBuffer[Node]的子类。

```
val items = new NodeBuffer
items += <li>Fred</li>
items += <li>Wilma</li>
val nodes: NodeSeq = items
```

215

注意： NodeBuffer是一个Seq[Node]，它可以被隐式转换为NodeSeq。一旦完成了这个转换，你需要小心别再继续修改它，因为XML节点序列应该是不可变的。

16.3 元素属性

要处理某个元素的属性键和值，可以用attributes属性。它将产出一个类型为MetaData的对象，该对象几乎就是但又不完全等同于一个从属性键到属性值的映射。你可以用()操作符来访问给定键的值：

```
val elem = <a href="http://scala-lang.org/">The Scala Language</a>
val url = elem.attributes("href")
```

可惜这样的调用产出的是一个节点序列，而不是字符串，因为XML的属性可以包含实体引用。例如：

```
val image = <img alt="San José State University Logo"
  src="http://www.sjsu.edu/publicaffairs/pics/sjsu_logo_color_web.jpg"/>
val alt = image.attributes("alt")
```

在本例中，键"alt"的值，是一个由文本节点"San Jos"、一个对应é的EntityRef及另一个文本节点" State University Logo"构成的节点序列。

为什么不能直接解析出实体引用呢？因为Scala没法知道é的含义是什么。在XHTML中它的含义是é（é的代码），但在其他文档类型里，它可以被定义成别的含义。

提示：如果你感到在XML字面量里处理实体引用很不方便，也可以转而使用字符引用：

如果你很肯定在你的属性当中不存在未被解析的实体，则可以简单地调用text方法来将节点序列转成字符串：

```
val url = elem.attributes("href").text
```

如果这样的一个属性不存在，()操作符将返回null。如果你不喜欢处理null，可以用get方法，它返回的是一个Option[Seq[Node]]。

216

可惜MetaData类并没有getOrElse方法，不过你可以对get方法返回的Option应用getOrElse：

```
val url = elem.attributes.get("href").getOrElse(Text(""))
```

要遍历所有属性，使用

```
for (attr <- elem.attributes)
  处理 attr.key 和 attr.value.text
```

或者，你也可以调用asAttrMap方法：

```
val image = <img alt="TODO" src="hamster.jpg"/>
val map = image.attributes.asAttrMap // Map("alt" -> "TODO", "src" -> "hamster.jpg")
```

16.4 内嵌表达式

你可以在XML字面量中包含Scala代码块，动态地计算出元素内容。例如：

```
<ul><li>{items(0)}</li><li>{items(1)}</li></ul>
```

每段代码块都会被求值，其结果会被拼接到XML树中。

如果代码块产出的是一个节点序列，序列中的节点会被直接添加到XML。所有其他值都会被放到一个Atom[T]中，这是一个针对类型T的容器。通过这种方式，你可以在XML树中存放任何值。你可以通过Atom节点的data属性取回这些值。

在很多情况下，我们并不关心从原子中获取条目。在XML文档保存时，每个原子都会通过对data属性调用toString方法转换成字符串。

注意：内嵌的字符串并不会被转成Text节点而是会被转成Atom[String]节点，这可能会让你觉得意外。这和普通的Text节点还是有区别的——Text是Atom[String]的子类。这对于保存文档没有问题。但如果你事后打算以Text节点的模式对它做匹配时，匹配会失败。像这种情况你应该插入Text节点而不是字符串：

```
<li>{Text("Another item")}</li>
```

你不但可以在XML字面量中包含Scala代码，被内嵌的Scala代码还可以继续包含XML字面量。举例来说，如果你有一个物品列表，你想把每个物品都放到li元素中：

```
<ul>{for (i <- items) yield <li>{i}</li>}</ul>
```

我们在ul元素中包含了一段Scala代码块
{...}。而那段代码块产出一个序列的XML表达式。

```
for (i <- items) yield XML字面量
```

而这个XML字面量
...
包含了另一个Scala代码块！

```
<li>{i}</li>
```

这是在XML中套Scala代码再套XML。思考这个结构的时候我们可能会犯晕。如果还没晕的话，这其实是个很自然的构造过程：做出一个ul，包含items中的所有元素，其中每个元素都对应一个li。

说明：要在XML字面量中包含左花括号或右花括号，连续写两个即可：

```
<h1>The Natural Numbers {{1, 2, 3, ...}}</h1>
```

上述代码将产出

```
<h1>The Natural Numbers {1, 2, 3, ...}</h1>
```

16.5 在属性中使用表达式

你可以用Scala表达式来计算属性值，例如：

```
<img src={makeURL(fileName)}/>
```

在这段代码中，makeURL函数将返回一个字符串，而该字符串将成为属性值。

注意：被引用的字符串当中的花括号不会被解析和求值。例如：

```
<img src="{makeURL(fileName)}"/>
```

将src属性设置为字符串"{makeURL(fileName)}"，这恐怕不是你想要的效果。

内嵌的代码块也可以产出一个节点序列。如果你想要在属性中包含实体引用或原子的话，这个特性就会比较有用：

```
<a id={new Atom(1)} ... />
```

如果内嵌代码块返回null或None，该属性不会被设置。例如：

```
<img alt={if (description == "TODO") null else description} ... />
```

如果description是字符串"TODO"或null的话，该元素就不会带alt属性。 218

你可以用Option[Seq[Node]]来达到同样的效果。例如：

```
<img alt={if (description == "TODO") None else Some(Text(description))} ... />
```

注意：如果这段代码块产出的不是String、Seq[Node]或Option[Seq[Node]]的话，就意味着语法错误。这和元素中的代码块是不一样的，元素中的代码块的结果会被包装在Atom中。如果你想让属性值使用原子，你必须手工构造。

16.6 特殊节点类型

有时，你需要将非XML文本包含到XML文档中。典型的例子是XHTML页面中的JavaScript代码。你可以在XML字面量中使用CDATA标记：

```
val js = <script><![CDATA[if (temp < 0) alert("Cold!")]]></script>
```

不过，解析器并不会记住这段文本实际上被标记成了CDATA。你得到的是一个带有Text后代的节点。如果你要在输出中带有CDATA，可以包含一个PCData节点，就像这样：

```
val code = """if (temp < 0) alert("Cold!")"""
val js = <script>{PCData(code)}</script>
```

你可以在Unparsed节点中包含任意文本。它会被原样保留。你可以以字面量或者以编程的方式来生成此类节点：

```
val n1 = <xml:unparsed><&></xml:unparsed>
val n2 = Unparsed("<&>")
```

我不推荐你这样做，因为你很容易做出格式错误的XML。

最后，你可以将一个节点序列归组到单个“组”节点。

```
val g1 = <xml:group><li>Item 1</li><li>Item 2</li></xml:group>
```

```
val g2 = Group(Seq(<li>Item 1</li>, <li>Item 2</li>))
```

当你遍历到这些“组”节点时，它们会自动被“解开”。比对如下两个示例：

```
val items = <li>Item 1</li><li>Item 2</li>
for (n <- <xml:group>{items}</xml:group>) yield n
  // 产出两个li元素
for (n <- <ol>{items}</ol>) yield n
  // 产出一个ol元素
```

219

16.7 类XPath表达式

NodeSeq类提供了类似XPath（XML Path Language, www.w3.org/TR/xpath）中/和//操作符的方法。由于//表示注释，因此不是合法的操作符，Scala用\和\\来替代。

\操作符定位某个节点或节点序列的直接后代。例如：

```
val list = <dl><dt>Java</dt><dd>Gosling</dd><dt>Scala></dt><dd>Odersky</dd></dl>
val languages = list \ "dt"
```

以上代码将languages设为包含<dt>Java</dt>和<dt>Scala</dt>的节点序列。

通配符可以匹配任何元素。例如：

```
doc \ "body" \ "_" \ "li"
```

将找到所有li元素，不管它们是被包含在ul、ol，还是body中的任何其他元素当中。

\\操作符可以定位任何深度的后代。例如：

```
doc \\ "img"
```

将定位doc中任何位置的所有img元素。

以@开头的字符串可以定位属性。例如：

```
img \ "@alt"
```

将返回给定节点的alt属性，而

```
doc \\ "@alt"
```

将定位到doc中任何元素的所有alt属性。

说明：并没有可以用于属性的通配符；img \ "@_"并不会返回所有属性。

注意：不像XPath，你不能用单个\来从多个节点提取属性。举例来说，doc \\ "img" \ "@src"对于包含多个img元素的文档并不奏效。这种情况需要用doc \\ "img" \\ "@src"。

\或\\的结果是一个节点序列。它可能是单个节点，不过除非你十分确信，否则你应该遍历它（而不是直接当做单个节点处理）。例如：

```
for (n <- doc \\ "img") 处理 n
```

220

如果你只是对\或\\的结果调用text，所有结果序列中的文本都会被串接在一起。例如：

```
(<img src="hamster.jpg"/><img src="frog.jpg"/> \\ "@src").text
```

将会返回字符串"hamster.jpgfrog.jpg"。

16.8 模式匹配

你可以在模式匹配表达式中使用XML字面量。例如：

```
node match {
  case <img/> => ...
  ...
}
```

如果node是一个带有任何属性但没有后代的img元素，则第一个匹配会成功。

要处理后代元素有些小麻烦。你可以用如下表达式匹配单个后代：

```
case <li>{_}</li> => ...
```

不过，如果li元素有多于一个的后代，比如
An important item，那么匹配就会失败。要匹配任意多的项，需要使用：

```
case <li>{_*}</li> => ...
```

注意这里的花括号——它们可能会让你想起XML字面量中内嵌代码的写法。不过，在XML模式中，花括号表示代码模式，而不是可以被求值的代码。

除了用通配符，你也可以使用变量名。成功匹配到的内容会被绑到该变量上。

```
case <li>{child}</li> => child.text
```

要匹配一个文本节点，可以用如下这样的样例类匹配：

```
case <li>{Text(item)}</li> => item
```

要把节点序列绑到变量，使用如下语法：

```
case <li>{children @ _*}</li> => for (c <- children) yield c
```

221

注意：在这样的匹配中，children是一个Seq[Node]，并不是NodeSeq。

在case语句中，你只能用一个节点。举例来说，如下代码是非法的：

```
case <p>{_*}</p><br/> => ... // 非法
```

XML模式不能有属性。

```
case <img alt="TODO"/> => ... // 非法
```

要匹配到属性，得用守卫：

```
case n @ <img/> if (n.attributes("alt").text == "TODO") => ...
```

16.9 修改元素和属性

在Scala中，XML节点和节点序列是不可变的。如果你想要编辑一个节点，则必须创建一个拷贝，给出需要做的修改，然后拷贝未被显式修改的部分。

要拷贝Elem节点，我们用copy方法。它有五个带名参数：有我们熟悉的label、attributes和child，还有用于命名空间（参见16.12节）的prefix和scope。任何你不指定的参数都会从原来的元素拷贝过来。例如：

```
val list = <ul><li>Fred</li><li>Wilma</li></ul>
val list2 = list.copy(label = "ol")
```

上面这段代码将会创建一个list的拷贝，将标签从ul修改成ol。新旧两个列表的后代是共享的，不过这没有问题，因为节点序列是不可变的。

要添加一个后代，可以像如下这样调用copy：

```
list.copy(child = list.child ++ <li>Another item</li>)
```

要添加或修改一个属性，可以用%操作符：

```
val image = <img src="hamster.jpg"/>
val image2 = image % Attribute(null, "alt", "An image of a hamster", Null)
```

第一个参数是命名空间。最后一个是额外的元数据列表。正如Node扩展自NodeSeq，Attribute特质扩展自MetaData。要添加多个属性，你可以将它们像如下这样串接在一起：

```
val image3 = image % Attribute(null, "alt", "An image of a frog",
  Attribute(null, "src", "frog.jpg", Null))
```

222

注意：在这里，scala.xml.Null是一个空的属性列表，它并不是scala.Null类型。

用相同的键添加属性会替换掉已有的那一个。image3元素只有一个键为"src"的属性，它的值为"frog.jpg"。

16.10 XML变换

有时，你需要重写所有满足某个特定条件的后代。XML类库提供了一个RuleTransformer类，该类可以将一个或多个RewriteRule实例应用到某个节点及其后代。

举例来说，假定你想要把某个文档中所有的ul节点都修改成ol。你要做的是定义一个RewriteRule并重写transform方法：

```
val rule1 = new RewriteRule {
  override def transform(n: Node) = n match {
    case e @ <ul>{_*}</ul> => e.asInstanceOf[Elem].copy(label = "ol")
    case _ => n
  }
}
```

然后，你就可以用以下命令来对某棵XML树进行变换了：

```
val transformed = new RuleTransformer(rule1).transform(root)
```

你可以在RuleTransformer的构造器中给出多个规则：

```
val transformer = new RuleTransformer(rule1, rule2, rule3);
```

transform方法遍历给定节点的所有后代，应用所有规则，最后返回经过变换的树。

16.11 加载和保存

要从文件中加载XML文档，调用XML对象的loadFile方法：

```
import scala.xml.XML
val root = XML.loadFile("myfile.xml")
```

你也可以从java.io.InputStream、java.io.Reader或URL加载：

```
val root2 = XML.load(new FileInputStream("myfile.xml"))
val root3 = XML.load(new InputStreamReader(
  new FileInputStream("myfile.xml"), "UTF-8"))
val root4 = XML.load(new URL("http://horstmann.com/index.html"))
```

223

文档是使用Java类库中标准的SAX解析器加载的。但可惜并没有提供文档类型定义（Document Type Definition，DTD）。

注意：这个解析器有一个从Java类库继承下来的问题，即它并不从本地编目读取DTD。尤其是，获取XHTML文件可能会花费非常长的时间，甚至完全失败，这中间解析器会向w3c.org站点请求并接收DTD。

要使用本地编目，你需要JDK的com.sun.org.apache.xml.internal.resolver.tools包中的CatalogResolver类；或者，如果使用非正式的API让你感到不安，也可以用Apache Commons Resolver项目提供的版本（http://xml.apache.org/commons/components/resolver/resolver-article.html）。

只可惜XML对象并没有API用来安装实体解析器。以下是如何通过后门来达到这个目的：

```
val res = new CatalogResolver
```

```
val doc = new factory.XMLLoader[Elem] {
  override def adapter = new parsing.NoBindingFactoryAdapter() {
    override def resolveEntity(publicId: String, systemId: String) = {
      res.resolveEntity(publicId, systemId)
    }
  }
}.load(new URL("http://horstmann.com/index.html"))
```

Scala还提供了另外一个解析器，可以保留注释、CDATA节和空白（可选）：

```
import scala.xml.parsing.ConstructingParser
import java.io.File
val parser = ConstructingParser.fromFile(new File("myfile.xml"), perserveWS = true)
val doc = parser.document
val root = doc.docElem
```

注意ConstructingParser返回一个类型为Document的节点。调用其docElem方法可取得文档根节点。

如果你的文档有DTD而你又需要它的话（比如当你保存文档时），可以用doc.dtd访问到。

224

注意：默认情况下，ConstructingParser并不解析实体，而是将它们转换成无用的注释，比如：

```
<!-- unknown entity nbsp; -->
```

如果你碰巧要读取一个XHTML文件，则可以使用XhtmlParser子类：

```
val parser = new XhtmlParser(scala.io.Source.fromFile("myfile.html"))
val doc = parser.initialize.document
```

其他情况下，你需要将实体添加到解析器的实体映射当中。例如：

```
parser.ent ++= List(
  "nbsp" -> ParsedEntityDecl("nbsp", IntDef("\u00A0")),
  "eacute" -> ParsedEntityDecl("eacute", IntDef("\u00E9")))
```

要保存XML到文件当中，可以用save方法：

```
XML.save("myfile.xml", root)
```

这个方法有以下三个可选参数：

- enc用来指定字符编码（缺省为"ISO-8859-1"）。
- xmlDecl用来指定输出中最开始是否要生成XML声明（<?xml...?>）（缺省为false）。
- doctype是样例类scala.xml.dtd.DocType的对象（缺省为null）。

举例来说，要写入XHTML文件，你可能会使用

```
XML.save("myfile.xhtml", root,
  enc = "UTF-8",
  xmlDecl = true,
  doctype = DocType("html",
    PublicID("-//W3C//DTD XHTML 1.0 Strict//EN",
      "http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-strict.dtd"),
    Nil))
```

DocType构造器的最后一个参数是用来指定内部DTD声明的——这是一个很不常用的XML特性，我就不在这里介绍了。

你也可以保存到java.io.Writer，但这样一来你就必须给出所有参数（没有缺省值）。

225

```
XML.write(writer, root, "UTF-8", false, null)
```

说明：保存XML文件时，没有内容的元素不会被写成自结束的标签。默认的样式为：

```
<img src="hamster.jpg"></img>
```

如果你想要

```
<img src="hamster.jpg"/>
```

可以用

```
val str = xml.Utility.toXML(node, minimizeTags = true)
```

提示：如果你想让你的XML代码排版更加美观，可以用PrettyPrinter类：

```
val printer = new PrettyPrinter(width = 100, step = 4)
val str = printer.formatNodes(nodeSeq)
```

16.12 命名空间

在XML中，命名空间用来避免名称冲突，类似Java或Scala中包的概念。不过，XML命名空间是一个URI（通常也是URL），比如：

```
http://www.w3.org/1999/xhtml
```

xmlns属性可以声明一个命名空间，例如：

```
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
  <head>...</head>
  <body>...</body>
</html>
```

html元素及其后代（head、body等）将被放置在这个命名空间当中。

后代也可以引入自己的命名空间，例如：

```
<svg xmlns="http://www.w3.org/2000/svg" width="100" height="100">
  <rect x="25" y="25" width="50" height="50" fill="#ff0000"/>
</svg>
```

在Scala中，每个元素都有一个scope属性，类型为NamespaceBinding。该类的uri属性将输出命名空间的URI。

如果你想混用多个命名空间的元素，处理这些命名空间的URL将会变得十分枯燥。另一种做法是命名空间前缀。例如：

```
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml"
  xmlns:svg="http://www.w3.org/2000/svg">
```

226

上述标签会引入前缀svg来表示命名空间 http://www.w3.org/2000/svg 。所有以svg:开头的元素都将属于该命名空间。例如：

```
<svg:svg width="100" height="100">
  <svg:rect x="25" y="25" width="50" height="50" fill="#ff0000"/>
</svg:svg>
```

你应该还记得在16.9节中，每个Elem对象都有prefix和scope值。解析器会自动计算这些值。要找出某个元素的命名空间，检查scope.uri值。不过，当你用编程的方式产出XML元素时，则需要手工设置prefix和scope。例如：

```
val scope = new NamespaceBinding("svg", "http://www.w3.org/2000/svg", TopScope)
val attrs = Attribute(null, "width", "100",
  Attribute(null, "height", "100", Null))
val elem = Elem(null, "body", Null, TopScope,
  Elem("svg", "svg", attrs, scope))
```

练习

1. <fred/>(0)得到什么？<fred/>(0)(0)呢？为什么？
2. 如下代码的值是什么？

```
<ul>
  <li>Opening bracket: [</li>
  <li>Closing bracket: ]</li>
  <li>Opening brace: {</li>
  <li>Closing brace: }</li>
</ul>
```

   你如何修复它？
3. 比对

```
<li>Fred</li> match { case <li>{Text(t)}</li> => t }
```

   和

```
<li>{"Fred"}</li> match { case <li>{Text(t)}</li> => t }
```

   为什么它们的行为不同？
4. 读取一个XHTML文件并打印所有不带alt属性的img元素。
5. 打印XHTML文件中所有图像的名称。即，打印所有位于img元素内的src属性值。
6. 读取XHTML文件并打印一个包含了文件中给出的所有超链接及其URL的表

227

格。即，打印所有a元素的child文本和href属性。

7. 编写一个函数，带一个类型为Map[String, String]的参数，返回一个dl元素，其中针对映射中每个键对应有一个dt，每个值对应有一个dd。例如：

```
Map("A" -> "1", "B" -> "2")
```

应产出 <dl><dt>A</dt><dd>1</dd><dt>B</dt><dd>2</dd></dl>

8. 编写一个函数，接受dl元素，将它转成Map[String, String]。该函数应该是前一个练习中的反向处理，前提是所有dt后代都是唯一（各不相同）的。
9. 对一个XHTML文档进行变换，对所有不带alt属性的img元素添加一个alt="TODO"属性，其余内容完全不变。
10. 编写一个函数，读取XHTML文档，执行前一个练习中的变换，并保存结果。确保保留了DTD以及所有CDATA内容。

228

第17章　类型参数

本章的主题 L2

- 17.1　泛型类——第246页
- 17.2　泛型函数——第246页
- 17.3　类型变量界定——第246页
- 17.4　视图界定——第248页
- 17.5　上下文界定——第249页
- 17.6　Manifest上下文界定——第249页
- 17.7　多重界定——第250页
- 17.8　类型约束L3——第250页
- 17.9　型变——第252页
- 17.10 协变和逆变点——第253页
- 17.11 对象不能泛型——第255页
- 17.12 类型通配符——第256页
- 练习——第257页

Chapter 17

在Scala中，你可以用类型参数来实现类和函数，这样的类和函数可以用于多种类型。举例来说，Array[T]可以存放任意类型T的元素。基本的想法很简单，但细节可能会很复杂。有时，你需要对类型做出限制。例如，要对元素排序，T必须提供一定的顺序定义。并且，如果参数类型变化了，那么参数化的类型应该如何应对这个变化呢？举例来说，当一个函数预期Array[Any]时，你能不能传入一个Array[String]呢？在Scala中，你可以指定你的类型如何根据它们的类型参数的变化而变化。

本章的要点包括：

- 类、特质、方法和函数都可以有类型参数。
- 将类型参数放置在名称之后，以方括号括起来。
- 类型界定的语法为 T <: UpperBound、T >: LowerBound、T <% ViewBound、T : ContextBound。
- 你可以用类型约束来约束一个方法，比如 (implicit ev: T <:< UpperBound)。
- 用+T（协变）来表示某个泛型类的子类型关系和参数T方向一致，或用-T（逆变）来表示方向相反。
- 协变适用于表示输出的类型参数，比如不可变集合中的元素。
- 逆变适用于表示输入的类型参数，比如函数参数。

17.1 泛型类

和Java或C++一样，类和特质可以带类型参数。在Scala中，我们用方括号来定义类型参数，例如：

```
class Pair[T, S](val first: T, val second: S)
```

以上将定义一个带有两个类型参数T和S的类。在类的定义中，你可以用类型参数来定义变量、方法参数，以及返回值的类型。

带有一个或多个类型参数的类是*泛型的*。如果你把类型参数替换成实际的类型，将得到一个普通的类，比如Pair[Int, String]。

Scala会从构造参数推断出实际类型，这很省心：

```
val p = new Pair(42, "String") // 这是一个Pair[Int, String]
```

你也可以自己指定类型：

```
val p2 = new Pair[Any, Any](42, "String")
```

17.2 泛型函数

函数和方法也可以带类型参数。以下是一个简单的示例：

```
def getMiddle[T](a: Array[T]) = a(a.length / 2)
```

和泛型类一样，你需要把类型参数放在方法名之后。

Scala会从调用该方法使用的实际参数来推断出类型。

```
getMiddle(Array("Mary", "had", "a", "little", "lamb")) // 将会调用getMiddle[String]
```

如有必要，你也可以指定类型：

```
val f = getMiddle[String] _ // 这是具体的函数，保存到f
```

17.3 类型变量界定

有时，你需要对类型变量进行限制。考虑这样一个Pair类型，它要求它的两个组件类型相同，就像这样：

```
class Pair[T](val first: T, val second: T)
```

现在你想要添加一个方法，产出较小的那个值：

```
class Pair[T](val first: T, val second: T) {
  def smaller = if (first.compareTo(second) < 0) first else second  // 错误
}
```

这是错的——我们并不知道first是否有compareTo方法。要解决这个问题，我们可以添加一个上界 T <: Comparable[T]。

```
class Pair[T <: Comparable[T]](val first: T, val second: T) {
  def smaller = if (first.compareTo(second) < 0) first else second
}
```

这意味着T必须是Comparable[T]的子类型。

这样一来，我们可以实例化Pair[java.lang.String]，但不能实例化Pair[java.io.File]，因为String是Comparable[String]的子类型，而File并没有实现Comparable[File]。例如：

```
val p = new Pair("Fred", "Brooks")
println(p.smaller) // 将打印Brooks
```

注意：这个例子有些过于简化了。如果你尝试用new Pair(4, 2)，则会被告知对于T = Int，界定T <: Comparable[T]无法满足。解决方案参见17.4节。

你也可以为类型指定一个下界。举例来说，假定我们想要定义一个方法，用另一个值替换对偶的第一个组件。我们的对偶是不可变的，因此我们需要返回一个新的对偶。以下是我们的首次尝试：

```
class Pair[T](val first: T, val second: T) {
  def replaceFirst(newFirst: T) = new Pair[T](newFirst, second)
}
```

但我们可以做得更好。假定我们有一个Pair[Student]。我们应该允许用一个Person来替换第一个组件。当然了，这样做得到的结果将会是一个Pair[Person]。通常而言，替换进来的类型必须是原类型的超类型。

```
def replaceFirst[R >: T](newFirst: R) = new Pair[R](newFirst, second)
```

在本例中，为清晰起见，我给返回的对偶也写上了类型参数。你也可以写成：

```
def replaceFirst[R >: T](newFirst: R) = new Pair(newFirst, second)
```

233 返回值会被正确地推断为new Pair[R]。

注意：如果你不写上界

```
def replaceFirst[R](newFirst: R) = new Pair(newFirst, second)
```

上述方法可以通过编译，但它将返回Pair[Any]。

17.4 视图界定

在前一节，我们看过一个带上界的示例：

```
class Pair[T <: Comparable[T]]
```

可惜如果你试着new一个Pair(4, 2)，编译器会抱怨说Int不是Comparable[Int]的子类型。和java.lang.Integer包装类型不同，Scala的Int类型并没有实现Comparable。不过，RichInt实现了Comparable[Int]，同时还有一个从Int到RichInt的隐式转换。（有关隐式转换的详细内容参见第21章。）

解决方法是使用“视图界定”，就像这样：

```
class Pair[T <% Comparable[T]]
```

<%关系意味着T可以被隐式转换成Comparable[T]。

说明：用Ordered特质会更好，它在Comparable的基础上额外提供了关系操作符：

```
class Pair[T <% Ordered[T]](val first: T, val second: T) {
  def smaller = if (first < second) first else second
}
```

我在前一节没有这样做是因为java.lang.String实现了Comparable[String]，但没有实现Ordered[String]。有了视图界定，这就不再是个问题。字符串可以被隐式转换成RichString，而RichString是Ordered[String]的子类型。

17.5 上下文界定

视图界定T <% V要求必须存在一个从T到V的隐式转换。上下文界定的形式为T : M，其中M是另一个泛型类。它要求必须存在一个类型为M[T]的“隐式值”。我们将在第21章介绍隐式值。

例如：

234

```
class Pair[T : Ordering]
```

上述定义要求必须存在一个类型为Ordering[T]的隐式值。该隐式值可以被用在该类的方法中。当你声明一个使用隐式值的方法时，需要添加一个“隐式参数”。以下是一个示例：

```
class Pair[T : Ordering](val first: T, val second: T) {
  def smaller(implicit ord: Ordering[T]) =
    if (ord.compare(first, second) < 0) first else second
}
```

在第21章中你将会看到，隐式值比隐式转换更为灵活。

17.6 Manifest上下文界定

要实例化一个泛型的Array[T]，我们需要一个Manifest[T]对象。要想让基本类型的数组能正常工作的话，这是必需的。举例来说，如果T是Int，你会希望虚拟机中对应的是一个int[]数组。在Scala中，Array只不过是类库提供的一个类，编译器并不对它做特殊处理。如果你要编写一个泛型函数来构造泛型数组的话，你需要传入这个Manifest对象来帮忙。由于它是构造器的隐式参数，你可以用上下文界定，就像这样：

```
def makePair[T : Manifest](first: T, second: T) {
  val r = new Array[T](2); r(0) = first; r(1) = second; r
}
```

如果你调用makePair(4, 9)，编译器将定位到隐式的Manifest[Int]并实际上调用makePair(4, 9)(intManifest)。这样一来，该方法调用的就是new Array(2)(intManifest)，返回基本类型的数组int[2]。

为什么搞得这么复杂？在虚拟机中，泛型相关的类型信息是被抹掉的。只会有一个makePair方法，却要处理所有类型T。

17.7 多重界定

类型变量可以同时有上界和下界。写法为：

```
T >: Lower <: Upper
```

你不能同时有多个上界或多个下界。不过，你依然可以要求一个类型实现多个特质，就像这样：

```
T <: Comparable[T] with Serializable with Cloneable
```

你可以有多个视图界定：

```
T <% Comparable[T] <% String
```

你也可以有多个上下文界定：

235

```
T : Ordering : Manifest
```

17.8 类型约束 L3

类型约束提供给你的是另一个限定类型的方式。总共有三种关系可供使用：

```
T =:= U
T <:< U
T <%< U
```

这些约束将会测试T是否等于U，是否为U的子类型，或能否被视图（隐式）转换为U。要使用这样一个约束，你需要添加“隐式类型证明参数”，就像这样：

```
class Pair[T](val first: T, val second: T)(implicit ev: T <:< Comparable[T])
```

说明：这些约束并非内建在语言当中。它们是Scala类库提供的特性。关于这组有些古怪的语法以及类型约束的内部逻辑的分析参见第21章。

在前面的示例中，使用类型约束并没有带来比类型界定class Pair[T <: Comparable[T]]更多的优点。不过，在某些特定的场景下，类型约束会很有用。在本节中，你将会看到类型约束的两个用途。

类型约束让你可以在泛型类中定义只能在特定条件下使用的方法。以下是一个示例：

```
class Pair[T](val first: T, val second: T) {
  def smaller(implicit ev: T <:< Ordered[T]) =
    if (first < second) first else second
}
```

你可以构造出Pair[File]，尽管File并不是带先后次序的。只有当你调用smaller方法时，才会报错。

另一个示例是Option类的orNull方法：

```
val friends = Map("Fred" -> "Barney", ...)
val friendOpt = friends.get("Wilma") // 这是个Option[String]
val friendOrNull = friendOpt.orNull // 要么是String，要么是null
```

在和Java代码打交道时，orNull方法就很有用了，因为Java中通常习惯用null表示缺少某值。不过这种做法并不适用于值类型，比如Int，它们并不把null看做是合法的值。因为orNull的实现带有约束Null <:< A，你仍然可以实例化Option[Int]，只要你别对这些实例使用orNull就好了。

类型约束的另一个用途是改进类型推断。比如：

```
def firstLast[A, C <: Iterable[A]](it: C) = (it.head, it.last)
```

236

当你执行如下代码：

```
firstLast(List(1, 2, 3))
```

你会得到一个消息，推断出的类型参数[Nothing, List[Int]]不符合[A, C <: Iterable[A]]。为什么是Nothing？类型推断器单凭List(1, 2, 3)无法判断出A是什么，因为它是在同一个步骤中匹配到A和C的。要帮它解决这个问题，首先匹配C，然后再匹配A：

```
def firstLast[A, C](it: C)(implicit ev: C <:< Iterable[A]) =
  (it.head, it.last)
```

说明：你在12章看到过类似的技巧。corresponds方法检查两个序列是否有相互对应的条目：

```
def corresponds[B](that: Seq[B])(match: (A, B) => Boolean): Boolean
```

match前提是一个柯里化的参数，因此类型推断器可以首先判定类型B，然后用

这个信息来分析match。在如下调用中：

```
Array("Hello", "Fred").corresponds(Array(5, 4))(_.length == _)
```

编译器能推断出B是Int，从而理解_.length == _是怎么一回事。

17.9 型变

假定我们有一个函数对Pair[Person]做某种处理：

```
def makeFriends(p: Pair[Person])
```

如果Student是Person的子类，那么我可以用Pair[Student]作为参数调用makeFriends吗？缺省情况下，这是个错误。尽管Student是Person的子类型，但Pair[Student]和Pair[Person]之间没有任何关系。

如果你想要这样的关系，则必须在定义Pair类时表明这一点：

```
class Pair[+T](val first: T, val second: T)
```

+号意味着该类型是与T协变的——也就是说，它与T按同样的方向型变。由于Student是Person的子类型，Pair[Student]也就是Pair[Person]的子类型了。

也可以有另一个方向的型变。考虑泛型类型Friend[T]，表示希望与类型T的人成为朋友的人。

```
trait Friend[-T] {
  def befriend(someone: T)
}
```

237

现在假定你有一个函数：

```
def makeFriendWith(s: Student, f: Friend[Student]) { f.befriend(s) }
```

你能用Friend[Person]作为参数调用它吗？也就是说，如果你有：

```
class Person extends Friend[Person]
class Student extends Person
val susan = new Student
val fred = new Person
```

函数调用makeFriendWith(susan, fred)能成功吗？看上去应该成功才是。如果Fred愿意和

任何人成为朋友，他一定也会想要成为Susan的朋友。

注意类型变化的方向和子类型方向是相反的。Student是Person的子类型，但Friend[Student]是Friend[Person]的超类型。对这种情况，你需要将类型参数声明为*逆变*的：

```
trait Friend[-T] {
  def befriend(someone: T)
}
```

在一个泛型的类型声明中，你可以同时使用这两种型变。举例来说，单参数函数的类型为Function1[-A, +R]。要搞明白为什么这样的声明是正确的，考虑如下函数：

```
def friends(students: Array[Student], find: Function1[Student, Person]) =
  // 你可以将第二个参数写成 find: Student => Person
  for (s <- students) yield find(s)
```

假定你有一个函数：

```
def findStudent(p: Person) : Student
```

你能用这个函数调用friends吗？当然可以。它愿意接受任何Person，因此当然也愿意接受Student。它将产出Student结果，可以被放入Array[Person]。

17.10 协变和逆变点

在17.9节，你看到了函数在参数上是逆变的，在返回值上则是协变的。通常而言，对于某个对象消费的值适用逆变，而对于它产出的值则适用协变。

如果一个对象同时消费和产出某值，则类型应该保持*不变*。这通常适用于可变数据结构。举例来说，在Scala中数组是不支持型变的。你不能将一个Array[Student]转换成Array[Person]，或者是反过来。这样做会不安全。考虑如下的情形：

238

```
val students = new Array[Student](length)
val people: Array[Person] = students // 非法，但假定我们可以这样做……
people(0) = new Person("Fred") // 哦不！现在students(0)不再是Student了
```

反过来讲，

```
val people = new Array[Person](length)
val students: Array[Student] = people // 非法，但假定我们可以这样做……
```

```
people(0) = new Person("Fred") // 哦不！现在students(0)不再是Student了
```

说明：在Java中，我们可以将Student[]数组转换为Person[]数组，但如果你试着把非Student类的对象添加到该数组时，就会抛ArrayStoreException。在Scala中，编译器会拒绝可能引发类型错误的程序通过编译。

假定我们试过声明一个协变的可变对偶，会发现这是行不通的。它会是一个带有两个元素的数组，不过会报刚才你看到的那个错。

的确，如果你用：

```
class Pair[+T](var first: T, var second: T) // 错误
```

你会得到一个报错，说在如下的setter方法中，协变的类型T出现在了*逆变点*：

```
first_=(value: T)
```

参数位置是逆变点，而返回类型的位置是协变点。

不过，在函数参数中，型变是反转过来的——它的参数是协变的。比如下面Iterable[+A]的foldLeft方法：

```
foldLeft[B](z: B)(op: (B, A) => B): B
                      -       + +     -   +
```

注意A现在位于协变点。

这些规则很简单也很安全，不过有时它们也会妨碍我们做一些本来没有风险的事情。考虑17.3节中不可变对偶的replaceFirst方法：

```
class Pair[+T](val first: T, val second: T) {
  def replaceFirst(newFirst: T) = new Pair[T](newFirst, second) // 错误
}
```

编译器拒绝上述代码，因为类型T出现在了逆变点。但是，这个方法不可能会破坏原本的对偶——它返回新的对偶。

解决方法是给方法加上另一个类型参数，就像这样：

239

```
def replaceFirst[R >: T](newFirst: R) = new Pair[R](newFirst, second)
```

这样一来，方法就成了带有另一个类型参数R的泛型方法。但R是不变的，因此出现在逆变点就不会有问题。

17.11 对象不能泛型

我们没法给对象添加类型参数。比如可变列表。元素类型为T的列表要么是空的，要么是一个头部类型为T、尾部类型为List[T]的节点：

```
abstract class List[+T] {
  def isEmpty: Boolean
  def head: T
  def tail: List[T]
}

class Node[T](val head: T, val tail: List[T]) extends List[T] {
  def isEmpty = false
}

class Empty[T] extends List[T] {
  def isEmpty = true
  def head = throw new UnsupportedOperationException
  def tail = throw new UnsupportedOperationException
}
```

说明：这里我用Node和Empty是为了让讨论对Java程序员而言比较容易。如果你对Scala列表很熟悉的话，只要在脑海中替换成::和Nil即可。

将Empty定义成类看上去有些傻。因为它没有状态。但是你又无法简单地将它变成对象：

```
object Empty[T] extends List[T] // 错误
```

你不能将参数化的类型添加到对象。在本例中，我们的解决方法是继承List[Nothing]：

```
object Empty extends List[Nothing]
```

你应该还记得在第8章我们提到过，Nothing类型是所有类型的子类型。因此，当我们构造如下单元素列表时

```
val lst = new Node(42, Empty)
```

类型检查是成功的。根据协变的规则，List[Nothing]可以被转换成List[Int]，因而
240 Node[Int]的构造器能够被调用。

17.12 类型通配符

在Java中，所有泛型类都是不变的。不过，你可以在使用时用通配符改变它们的类型。举例来说，方法

```
void makeFriends(Pair<? extends Person> people) // 这是Java
```

可以用List<Student>作为参数调用。

你也可以在Scala中使用通配符。它们看上去是这个样子的：

```
def process(people: java.util.List[_ <: Person] // 这是Scala
```

在Scala中，对于协变的Pair类，你不需要用通配符。但假定Pair是不变的：

```
class Pair[T](var first: T, var second: T)
```

那么你可以定义

```
def makeFriends(p: Pair[_ <: Person]) // 可以用Pair[Student]调用
```

你也可以对逆变使用通配符：

```
import java.util.Comparator
def min[T](p: Pair[T])(comp: Comparator[_ >: T])
```

类型通配符是用来指代存在类型的“语法糖”，我们将在第18章更详细地探讨存在类型。

注意：在某些特定的复杂情形下，Scala的类型通配符还并不是很完善。举例来说，如下声明在Scala 2.9中行不通：

```
def min[T <: Comparable[_ >: T]](p: Pair[T]) = ...
```

解决方法如下：

```
type SuperComparable[T] = Comparable[_ >: T]
def min[T <: SuperComparable[T]](p: Pair[T]) = ...
```

练习

1. 定义一个不可变类Pair[T, S]，带一个swap方法，返回组件交换过位置的新对偶。
2. 定义一个可变类Pair[T]，带一个swap方法，交换对偶中组件的位置。
3. 给定类Pair[T, S]，编写一个泛型方法swap，接受对偶作为参数并返回组件交换过位置的新对偶。 241
4. 在17.3节中，如果我们想把Pair[Person]的第一个组件替换成Student，为什么不需要给replaceFirst方法定一个下界？
5. 为什么RichInt实现的是Comparable[Int]而不是Comparable[RichInt]？
6. 编写一个泛型方法middle，返回任何Iterable[T]的中间元素。举例来说，middle("World")应得到'r'。
7. 查看Iterable[+A]特质。哪些方法使用了类型参数A？为什么在这些方法中类型参数位于协变点？
8. 在17.10节中，replaceFirst方法带有一个类型界定。为什么你不能对可变的Pair[T]定义一个等效的方法？

```
def replaceFirst[R >: T](newFirst: R) { first = newFirst } // 错误
```

9. 在一个不可变类Pair[+T]中限制方法参数看上去可能有些奇怪。不过，先假定你可以在Pair[+T]中定义

```
def replaceFirst(newFirst: T)
```

问题在于，该方法可能会被重写（以某种不可靠的方式）。构造出这样的一个示例。定义一个Pair[Double]的子类NastyDoublePair，重写replaceFirst方法，用newFirst的平方根来做新对偶。然后对实际类型为NastyDoublePair的Pair[Any]调用replaceFirst("Hello")。

10. 给定可变类Pair[S, T]，使用类型约束定义一个swap方法，当类型参数相同时可以被调用。 242

第18章　高级类型

本章的主题 L2

- 18.1　单例类型——第259页
- 18.2　类型投影——第261页
- 18.3　路径——第262页
- 18.4　类型别名——第263页
- 18.5　结构类型——第264页
- 18.6　复合类型——第265页
- 18.7　中置类型——第266页
- 18.8　存在类型——第267页
- 18.9　Scala类型系统——第268页
- 18.10 自身类型——第269页
- 18.11 依赖注入——第271页
- 18.12 抽象类型 L3 ——第272页
- 18.13 家族多态 L3 ——第274页
- 18.14 高等类型 L3 ——第278页
- 练习——第281页

Chapter 18

在本章中，你将会看到Scala能够提供的所有类型，包括更偏技术的那些。我们在最后还会探讨自身类型和依赖注入。

本章的要点包括：

- 单例类型可用于方法串接和带对象参数的方法。
- 类型投影对所有外部类的对象都包含了其内部类的实例。
- 类型别名给类型指定一个短小的名称。
- 结构类型等效于“鸭子类型”。
- 存在类型为泛型类型的通配参数提供了统一形式。
- 使用自身类型来表明某特质对混入它的类或对象的类型要求。
- “蛋糕模式”用自身类型来实现依赖注入。
- 抽象类型必须在子类中被具体化。
- 高等类型带有本身为参数化类型的类型参数。

18.1 单例类型

给定任何引用v，你可以得到类型v.type，它有两个可能的值：v和null。这听上去像是个挺古怪的类型，但它在有些时候很有用。

首先，我们来看那种返回this的方法，通过这种方式你可以把方法调用串接起来：

```
class Document {
  def setTitle(title: String) = { ...; this }
  def setAuthor(author: String) = { ...; this }
  ...
}
```

然后你就可以编写如下的代码：

```
article.setTitle("Whatever Floats Your Boat").setAuthor("Cay Horstmann")
```

不过，要是你还有子类，问题就来了：

```
class Book extends Document {
  def addChapter(chapter: String) = { ...; this }
  ...
}

val book = new Book()
book.setTitle("Scala for the Impatient").addChapter(chapter1) // 错误
```

由于setTitle返回的是this，Scala将返回类型推断为Document。但Document并没有addChapter方法。

解决方法是声明setTitle的返回类型为this.type：

```
def setTitle(title: String): this.type = { ...; this }
```

这样一来，book.setTitle("...")的返回类型就是book.type，而由于book有一个addChapter方法，方法串接就能成功了。

如果你想要定义一个接受object实例作为参数的方法，你也可以使用单例类型。你可能会纳闷：你什么时候才会这样做呢——毕竟，如果只有一个实例，方法直接用它就好了，为什么还要调用者将它传入呢。

不过，有些人喜欢构造那种读起来像英文的“流利接口”：

```
book set Title to "Scala for the Impatient"
```

上述代码将被解析成：

```
book.set(Title).to("Scala for the Impatient")
```

246

要让这段代码工作，set得是一个参数为单例Title的方法：

```
object Title

class Document {
  private var useNextArgAs: Any = null
  def set(obj: Title.type): this.type = { useNextArgAs = obj; this }
  def to(arg: String) = if (useNextArgAs == Title) title = arg; else ...
  ...
}
```

注意Title.type参数。你不能用

```
def set(obj: Title) ... // 错误
```

因为Title指代的是单例对象，而不是类型。

18.2 类型投影

在第5章中，你看到了嵌套类从属于包含它的外部对象。如下是一个示例：

```
import scala.collection.mutable.ArrayBuffer
class Network {
  class Member(val name: String) {
    val contacts = new ArrayBuffer[Member]
  }

  private val members = new ArrayBuffer[Member]

  def join(name: String) = {
    val m = new Member(name)
    members += m
    m
  }
}
```

每个网络实例都有它自己的Member类。举例来说，以下是两个网络：

```
val chatter = new Network
val myFace = new Network
```

现在chatter.Member和myFace.Member是不同的类。

247 你不能将其中一个网络（Network）的成员（Member）添加到另一个网络：

```
val fred = chatter.join("Fred") // 类型为chatter.Member
val barney = myFace.join("Barney") // 类型为myFace.Member
fred.contacts += barney // 错误
```

如果你不希望有这个约束，你应该把Member类直接挪到Network类之外。一个好的地方可能是Network的伴生对象中。

如果你要的就是细粒度的类，只是偶尔想使用更为松散的定义，那么可以用“类型投影”Network#Member，意思是“任何Network的Member”。

```
class Network {
  class Member(val name: String) {
    val contacts = new ArrayBuffer[Network#Member]
  }
  ...
}
```

如果你想要在程序中的某些地方但不是所有地方使用“每个对象自己的内部类”这个细粒度特性的话，可以按照上面的方式来。

注意：类似Network#Member这样的类型投影并不会被当做“路径”，你也无法引入它。我们将在18.3节介绍路径。

18.3 路径

考虑如下类型

```
com.horstmann.impatient.chatter.Member
```

或者，如果我们将Member嵌套在伴生对象当中的话：

```
com.horstmann.impatient.Network.Member
```

这样的表达式我们称之为路径。

在最后的类型之前，路径的所有组成部分都必须是“稳定的”，也就是说，它必须指定到单个、有穷的范围。组成部分必须是以下当中的一种：

- 包
- 对象
- val
- this、super、super[*S*]、*C*.this、*C*.super或*C*.super[*S*]

路径组成部分不能是类，因为正如你看到的，嵌套的内部类并不是单个类型，而是给每个实例都留出了各自独立的一套类型。 248

不仅如此，类型也不能是var。例如：

```
var chatter = new Network
...
val fred = new chatter.Member // 错误——chatter不稳定
```

由于你可能将一个不同的值赋值给chatter，编译器无法对类型chatter.Member做出明确解读。

说明：在内部，编译器将所有嵌套的类型表达式a.b.c.T都翻译成类型投影a.b.c.**type#**T。举例来说，chatter.Member就成为chatter.type#Member——任何位于chatter.type单例中的Member。这不是你通常需要担心的问题。不过，有时候你会看到关于类型a.b.c.type#T的报错信息。将它翻译回a.b.c.T即可。

18.4 类型别名

对于复杂类型，你可以用type关键字创建一个简单的*别名*，就像这样：

```
class Book {
  import scala.collection.mutable._
  type Index = HashMap[String, (Int, Int)]
  ...
}
```

这样一来，你就可以用Book.Index而不是更笨重的类型scala.collection.mutable.HashMap[String, (Int, Int)]。

类型别名必须被嵌套在类或对象中。它不能出现在Scala文件的顶层。不过，在REPL中你可以在顶层声明type，因为REPL中的所有内容都隐式地包含在一个顶层对象当中。

说明： type关键字同样被用于那些在子类中被具体化的抽象类型，例如：

```
abstract class Reader {
  type Contents
  def read(fileName: String): Contents
}
```

249

我们将在18.12节中介绍抽象类型。

18.5 结构类型

所谓的“结构类型”指的是一组关于抽象方法、字段和类型的规格说明，这些抽象方法、字段和类型是满足该规格的类型必须具备的。举例来说，如下方法带有一个结构类型参数target：

```
def appendLines(target: { def append(str: String): Any },
    lines: Iterable[String]) {
  for (l <- lines) { target.append(l); target.append("\n") }
}
```

你可以对任何具备append方法的类的实例调用appendLines方法。这比定义一个Appendable特质更为灵活，因为你可能并不总是能够将该特质添加到使用的类上。

在幕后，Scala使用反射来调用target.append(...)。结构类型让你可以安全而方便地做这样的反射调用。

不过，相比常规方法调用，反射调用的开销要大得多。因此，你应该只在需要抓住那些无法共享一个特质的类的共通行为的时候才使用结构类型。

说明：结构类型与诸如JavaScript或Ruby这样的动态类型编程语言中的“鸭子类型”很相似。在这些语言当中，变量没有类型。当你写下obj.quack()的时候，运行时会去检查obj指向的特定对象在那一刻是否具备quack方法。换句话说，你不需要将obj声明为Duck（鸭子），只要它走起路来以及嘎嘎叫起来像一只鸭子即可。

18.6 复合类型

复合类型的定义形式如下：

```
T1 with T2 with T3 ...
```

其中T_1、T_2、T_3等是类型。要想成为该复合类型的实例，某个值必须满足每一个类型的要求才行。因此，这样的类型也被称做交集类型。

你可以用复合类型来操纵那些必须提供多个特质的值。例如：

```
val image = new ArrayBuffer[java.awt.Shape with java.io.Serializable]
```

你可以用for (s <- image) graphics.draw(s)来绘制这个image对象；你也可以序列化这个image对象，因为你知道所有元素都是可被序列化的。

250

当然了，你只能添加那些既是形状（Shape）也是可被序列化的对象：

```
val rect = new Rectangle(5, 10, 20, 30)
image += rect // OK——Rectangle是Serializable的
image += new Area(rect) // 错误——Area是Shape但不是Serializable的
```

说明：当你有如下声明

```
trait ImageShape extends Shape with Serializable
```

这段代码意味着ImageShape扩展自交集类型Shape with Serializable。

你可以把结构类型的声明添加到简单类型或复合类型。例如：

```
Shape with Serializable { def contains(p: Point): Boolean }
```

该类型的实例必须既是Shape的子类型也是Serializable的子类型，并且必须有一个

带Point参数的contains方法。

从技术上讲，如下结构类型

```
{ def append(str: String): Any }
```

是如下代码的简写：

```
AnyRef { def append(str: String): Any }
```

而复合类型

```
Shape with Serializable
```

是以下代码的简写：

```
Shape with Serializable {}
```

18.7 中置类型

中置类型是一个带有两个类型参数的类型，以“中置”语法表示，类型名称写在两个类型参数之间。举例来说，你可以写做

```
String Map Int
```

而不是

```
Map[String, Int]
```

中置表示法在数学当中是很常见的。举例来说，$A \times B = \{ (a, b) \mid a \in A, b \in B \}$ 指的是组件类型分别为A和B的对偶的集。在Scala中，该类型被写做(A, B)。如果你倾向于使用数学表示法，则可以这样来定义：

251

```
type ×[A, B] = (A, B)
```

在此之后你就可以写 String × Int 而不是 (String, Int)了。

所有中置类型操作符都拥有相同的优先级。和常规操作符一样，它们是左结合的——除非它们的名称以:结尾。例如：

```
String × Int × Int
```

上述代码的意思是 ((String, Int), Int)。该类型与(String, Int, Int)相似但不相同，后者不能

在Scala中以中置表示法写出。

说明：中置类型的名称可以是任何操作符字符的序列（除了单个*号外）。这个规则是为了避免与变长参数声明T*混淆。

18.8 存在类型

存在类型被加入Scala是为了与Java的类型通配符兼容。存在类型的定义方式是在类型表达式之后跟上forSome { ... }，花括号中包含了type和val的声明。例如：

```
Array[T] forSome { type T <: JComponent }
```

上述代码和你在第17章中看到的类型通配符效果是一样的：

```
Array[_ <: JComponent]
```

Scala的类型通配符只不过是存在类型的“语法糖”。例如：

```
Array[_]
```

等同于

```
Array[T] forSome { type T }
```

而

```
Map[_, _]
```

等同于

```
Map[T, U] forSome { type T; type U }
```

forSome表示法允许我们使用更复杂的关系，而不仅限于类型通配符能表达的那些，例如：

```
Map[T, U] forSome { type T; type U <: T }
```

252

你也可以在forSome代码块中使用val声明，因为val可以有自己的嵌套类型（参见18.1节）。如下是一个示例：

```
n.Member forSome { val n: Network }
```

就其自身而言，它并没有什么特别的用处——你完全可以用类型投影Network#Member。不过也有更复杂的情况：

```
def process[M <: n.Member forSome { val n: Network }](m1: M, m2: M) = (m1, m2)
```

该方法将会接受相同网络的成员，但拒绝那些来自不同网络的成员：

```
val chatter = new Network
val myFace = new Network
val fred = chatter.join("Fred")
val wilma = chatter.join("Wilma")
val barney = myFace.join("Barney")
process(fred, wilma) // OK
process(fred, barney) // 错误
```

18.9 Scala类型系统

Scala语言参考给出了所有Scala类型的完整清单，我们重列在了表18-1中，并简单解释了每一种类型。

表18-1 Scala类型

类型	语法	说明
类或特质	class C ...，trait C ...	参见第5章、第10章
元组类型	$(T_1, ..., T_n)$	第4.7节
函数类型	$(T_1, ..., T_n) => T$	
带注解的类型	T @A	参见第15章
参数化类型	A[T_1, ..., T_n]	参见第17章
单例类型	值.type	参见18.1节
类型投影	*O#I*	参见18.2节
复合类型	T_1 with T_2 with ... with T_n { *声明* }	参见18.6节
中置类型	T_1 A T_2	参见18.7节
存在类型	T forSome { *type*和*val*声明 }	参见18.8节

253

说明：该表格展示了作为程序员的你可以声明的类型。还有一些类型是Scala编译器内部使用的。举例来说，*方法类型*表示为$(T_1, ..., T_n)T$，不带=>。你偶尔会

看到这样的类型。举例来说，当你在REPL中键入如下代码时

```
def square(x: Int) = x * x
```

它的响应为：

```
square (x: Int)Int
```

这和

```
val triple = (x: Int) => 3 * x
```

不同，后者产出为：

```
triple: Int => Int
```

你也可以在方法后面跟一个_来将方法转成函数。square _ 的类型为 Int => Int。

18.10 自身类型

在第10章，你看到了特质可以要求混入它的类扩展自另一个类型。你用*自身类型*（self type）的声明来定义特质：

```
this: 类型 =>
```

这样的特质只能被混入给定类型的子类当中。在如下示例中，LoggedException特质只能被混入扩展自Expcetion的类：

```
trait Logged {
  def log(msg: String)
}

trait LoggedException extends Logged {
  this: Exception =>
    def log() { log(getMessage()) }
      // 可以调用getMessage，因为this是一个Exception
}
```

254

如果你尝试将该特质混入不符合自身类型所要求的类，就会报错：

```
val f = new JFrame with LoggedException
  // 错误：JFrame不是LoggedException的自身类型Exception的子类型
```

如果你想要提出多个类型要求，可以用复合类型：

```
this: T with U with ... =>
```

说明：你可以把自身类型的语法和我在第5章简单介绍过的“用于包含this的别名”语法结合在一起使用。如果你给变量起的名称不是this，那么它就可以在子类型中通过那个名称使用。例如：

```
trait Group {
  outer: Network =>
    class Member {
      ...
    }
}
```

Group特质要求它被添加到Network的子类，而在Member中，你可以用outer来指代Group.this。

这个语法似乎是随着时间推移逐步成型的；可惜，对于增加出来的这样一点点功能，带来的困惑显得大了些。

注意：自身类型并不会自动继承。如果你像如下这样定义

```
trait ManagedException extends LoggedException { ... }
```

你会得到错误提示，说ManagedException并未提供Exception。在这种情况下，你需要重复自身类型的声明：

```
trait ManagedException extends LoggedException {
  this: Exception =>
    ...
}
```

18.11 依赖注入

在通过组件构建大型系统，而每个组件都有不同实现的时候，我们需要将组件的不同选择组装起来。举例来说，可能会有一个模拟数据库和一个真实数据库，或者控制台日志和文件日志。某个特定的实现可能想要用真正的数据库和控制台日志来运行实验，或者用模拟数据库和文件日志来运行测试脚本。

255

通常，组件之间存在某种依赖关系。比如，数据访问组件可能会依赖于日志功能。

Java有几种工具让程序员可以表达这种依赖关系，比如Spring框架，或者OSGi这样的模块系统。每个组件都描述了它所依赖的其他组件的接口。而对实际组件实现的引用是在应用程序被组装起来的时候“注入”的。

在Scala中，你可以通过特质和自身类型达到一个简单的依赖注入的效果。

对日志功能而言，假定我们有如下特质：

```
trait Logger { def log(msg: String) }
```

我们有该特质的两个实现，ConsoleLogger和FileLogger。

用户认证特质有一个对日志功能的依赖，用于记录认证失败：

```
trait Auth {
  this: Logger =>
    def login(id: String, password: String): Boolean
}
```

应用逻辑有赖于上述两个特质：

```
trait App {
  this: Logger with Auth =>
    ...
}
```

然后，我们就可以像这样来组装我们的应用：

```
object MyApp extends App with FileLogger("test.log") with MockAuth("users.txt")
```

像这样使用特质的组合有些别扭。毕竟，一个应用程序并非是认证器和文件日志器的合体。它拥有这些组件，更自然的表述方式可能是通过实例变量来表示组件，而不是将组件黏合成一个大类型。蛋糕模式给出了更好的设计。在这个模式当中，你对

每个服务都提供一个组件特质，该特质包含：

256

- 任何所依赖的组件，以自身类型表述。
- 描述服务接口的特质。
- 一个抽象的val，该val将被初始化成服务的一个实例。
- 可以有选择性地包含服务接口的实现。

```
trait LoggerComponent {
  trait Logger { ... }
  val logger: Logger
  class FileLogger(file: String) extends Logger { ... }
  ...
}

trait AuthComponent {
  this: LoggerComponent => // 让我们可以访问日志器

  trait Auth { ... }
  val auth: Auth
  class MockAuth(file: String) extends Auth { ... }
  ...
}
```

注意我们对自身类型的使用，这段代码用来表明认证组件依赖日志器组件。

这样一来，组件配置就可以在一个集中的地方完成：

```
object AppComponents extends LoggerComponent with AuthComponent {
  val logger = new FileLogger("test.log")
  val auth = new MockAuth("users.txt")
}
```

不论是上述哪一种方式，都比在XML文件中组装组件要好，因为编译器可以帮我们校验模块间的依赖是被满足的。

18.12 抽象类型 L3

类或特质可以定义一个在子类中被具体化的抽象类型（abstract type）。例如：

```
trait Reader {
  type Contents
  def read(fileName: String): Contents
}
```

在这里，类型Contents是抽象的。具体的子类需要指定这个类型：

257

```
class StringReader extends Reader {
  type Contents = String
  def read(fileName: String) = Source.fromFile(fileName, "UTF-8").mkString
}

class ImageReader extends Reader {
  type Contents = BufferedImage
  def read(fileName: String) = ImageIO.read(new File(fileName))
}
```

同样的效果也可以通过类型参数来实现：

```
trait Reader[C] {
  def read(fileName: String): C
}

class StringReader extends Reader[String] {
  def read(fileName: String) = Source.fromFile(fileName, "UTF-8").mkString
}

class ImageReader extends Reader[BufferedImage] {
  def read(fileName: String) = ImageIO.read(new File(fileName))
}
```

哪种方式更好呢？Scala的经验法则是：

- 如果类型是在类被实例化时给出，则使用类型参数。比如构造HashMap[String, Int]，你会想要在这个时候控制使用的类型。
- 如果类型是在子类中给出的，则使用抽象类型。我们的Reader实例就挺符合这个描述。

在构建子类时给出类型参数并没有什么不好。但是当有多个类型依赖时，抽象类

型用起来更方便——你可以避免使用一长串类型参数。例如：

```
trait Reader {
  type In
  type Contents
  def read(in: In): Contents
}

class ImageReader extends Reader {
  type In = File
  type Contents = BufferedImage
  def read(file: In) = ImageIO.read(file)
}
```

258

用类型参数的话，ImageReader就需要扩展自Reader[File, BufferedImage]。这依然没问题，但你可以看得出来，在更复杂的情况下，这种方式的伸缩性并不那么好。

并且，抽象类型还能够描述类型间那些微妙的相互依赖。我们在18.13节会讲到一个对应的示例。

抽象类型可以有类型界定，就和类型参数一样。例如：

```
trait Listener {
  type Event <: java.util.EventObject
  ...
}
```

子类必须提供一个兼容的类型，比如：

```
trait ActionListener extends Listener {
  type Event = java.awt.event.ActionEvent // OK，这是一个子类型
}
```

18.13 家族多态 L3

如何对那些跟着一起变化的类型家族建模，同时共用代码，并保持类型安全，是一个挑战。举例来说，我们可以看一下客户端Java的事件处理。有各种不同种类的事件（比如ActionEvent、ChangeEvent等），而每种类型都有单独的监听器接口（ActionListener、ChangeListener等）。这就是“家族多态”的典型示例。

让我们来设计一个管理监听器的通用机制。我们首先用泛型类型，之后再切换到抽象类型。

在Java中，每个监听器接口有各自不同的方法名称对应事件的发生：actionPerformed、stateChanged、itemStateChanged，等等。我们将把这些方法统一起来：

```
trait Listener[E] {
  def occurred(e: E): Unit
}
```

而事件源需要一个监听器的集合，和一个触发这些监听器的方法：

```
trait Source[E, L <: Listener[E]] {
  private val listeners = new ArrayBuffer[L]
  def add(l: L) { listeners += l }
  def remove(l: L) { listeners -= l }
  def fire(e: E) {
    for (l <- listeners) l.occurred(e)
  }
}
```

259

现在，我们来考虑按钮触发动作事件的情况。我们定义如下监听器类型：

```
trait ActionListener extends Listener[ActionEvent]
```

Button类可以混入Source特质：

```
class Button extends Source[ActionEvent, ActionListener] {
  def click() {
    fire(new ActionEvent(this, ActionEvent.ACTION_PERFORMED, "click"))
  }
}
```

任务完成：Button类不需要重复那些监听器管理的代码，并且监听器是类型安全的。你没法给按钮加上ChangeListener。

ActionEvent类将事件源设置为this，但是事件源的类型为Object。我们可以用自身类型来让它也是类型安全的：

```
trait Event[S] {
  var source: S = _
```

```
}

trait Listener[S, E <: Event[S]] {
  def occurred(e: E): Unit
}

trait Source[S, E <: Event[S], L <: Listener[S, E]] {
  this: S =>
    private val listeners = new ArrayBuffer[L]
    def add(l: L) { listeners += l }
    def remove(l: L) { listeners -= l }
    def fire(e: E) {
      e.source = this // 这里需要自身类型
      for (l <- listeners) l.occurred(e)
    }
}
```

注意自身类型 this: S =>，用来将事件源设为this。否则，this只能是某种Source，而并不一定是Event[S]所要求的类型。

260

以下代码为如何定义一个按钮：

```
class ButtonEvent extends Event[Button]

trait ButtonListener extends Listener[Button, ButtonEvent]

class Button extends Source[Button, ButtonEvent, ButtonListener] {
  def click() { fire(new ButtonEvent) }
}
```

你可以看到类型参数扩张得很厉害。如果用抽象类型，代码会好看一些。

```
trait ListenerSupport {
  type S <: Source
  type E <: Event
  type L <: Listener

  trait Event {
    var Source: S = _
```

```
  }

  trait Listener {
    def occurred(e: E): Unit
  }

  trait Source {
    this: S =>
      private val listeners = new ArrayBuffer[L]
      def add(l: L) { listeners += l }
      def remove(l: L) { listeners -= l }
      def fire(e: E) {
        e.source = this
        for (l <- listeners) l.occurred(e)
      }
  }
}
```

但所有这些也有代价：你不能拥有顶级的类型声明。这就是所有代码都被包在了ListenerSupport特质里的原因。

接下来，当你想要定义一个带有按钮事件和按钮监听器的按钮时，你就可以将定义包含在一个扩展该特质的模块当中：

261

```
object ButtonModule extends ListenerSupport {
  type S = Button
  type E = ButtonEvent
  type L = ButtonListener

  class ButtonEvent extends Event
  trait ButtonListener extends Listener
  class Button extends Source {
    def click() { fire(new ButtonEvent) }
  }
}
```

如果要用这个按钮，则必须引入这个模块：

```
object Main {
  import ButtonModule._

  def main(args: Array[String]) {
    val b = new Button
    b.add(new ButtonListener {
      override def occurred(e: ButtonEvent) { println(e) }
    })
    b.click()
  }
}
```

说明：在本例中，我用单字母名称来表示抽象类型，这是为了类比使用类型参数的代码。在Scala中，使用更具描述性的类型名称是很常见的，产出的代码也更加自文档化：

```
object ButtonModule extends ListenerSupport {
  type SourceType = Button
  type EventType = ButtonEvent
  type ListenerType = ButtonListener
  ...
}
```

262

18.14 高等类型 L3

泛型类型List依赖于类型T并产出一个特定的类型。举例来说，给定类型Int，你得到的是类型List[Int]。因此，像List这样的泛型类型有时被称做类型构造器（type constructor）。在Scala中，你可以更上一层，定义出依赖于依赖其他类型的类型的类型。

要搞清楚为什么这样做是有意义的，可以看看如下简化过的Iterable特质：

```
trait Iterable[E] {
  def iterator(): Iterator[E]
  def map[F](f: (E) => F): Iterable[F]
}
```

现在，考虑一个实现该特质的类：

```
class Buffer[E] extends Iterable[E] {
  def iterator(): Iterator[E] = ...
  def map[F](f: (E) => F): Buffer[F] = ...
}
```

对于Buffer，我们预期map方法返回一个Buffer，而不仅仅是Iterable。这意味着我们不能在Iterable特质中实现这个map方法。一个解决方案是使用类型构造器来参数化Iterable，就像这样：

```
trait Iterable[E, C[_]] {
  def iterator(): Iterator[E]
  def build[F](): C[F]
  def map[F](f: (E) => F): C[F]
}
```

这样一来，Iterable就依赖一个类型构造器来生成结果，以C[_]表示。这使得Iterable成为一个高等类型。

map方法返回的类型可以是，也可以不是与调用该map方法的原Iterable相同的类型。举例来说，如果你对Range执行map方法，结果通常不会是另一个Range，因此map必须构造出另一种类型，比如Buffer[F]。这样的一个Range类型声明如下：

```
class Range extends Iterable[Int, Buffer]
```

注意第二个参数是类型构造器Buffer。

要实现Iterable中的map方法，我们需要寻求更多的支持。Iterable需要能够产出一个包含了任何类型F的值的容器。我们来定义一个Container类——某种你可以向它添加值的东西：

263

```
trait Container[E] {
  def +=(e: E): Unit
}
```

而build方法被要求产出这样一个对象：

```
trait Iterable[E, C[X] <: Container[X]] {
  def build[F](): C[F]
```

```
  ...
}
```

类型构造器C现在被限制为一个Container，因此我们知道可以往build方法返回的对象添加项目。我们不再对参数C使用通配符，因为我们需要表明C[X]是一个针对同样的X的容器。

说明： Container特质是Scala集合类库中使用的构建器机制的简化版。

有了这些以后，我们就可以在Iterable特质中实现map方法了：

```
def map[F](f: (E) => F): C[F] = {
  val res = build[F]()
  val iter = iterator()
  while (iter.hasNext) res += f(iter.next())
  res
}
```

这样一来，可迭代（Iterable）类就不再需要提供它们自己的map实现了。如下是Range类的定义：

```
class Range(val low: Int, val high: Int) extends Iterable[Int, Buffer] {
  def iterator() = new Iterator[Int] {
    private var i = low
    def hasNext = i <= high
    def next() = { i += 1; i - 1 }
  }

  def build[F]() = new Buffer[F]
}
```

注意Range是一个Iterable：你可以遍历其内容。但它并不是一个Container：你不能对它添加值。

264

而Buffer则不同，它既是Iterable，也是Container：

```
class Buffer[E : Manifest] extends Iterable[E, Buffer] with Container[E] {
  private var capacity = 10
  private var length = 0
```

```
  private var elems = new Array[E](capacity) // 参见说明

  def iterator() = new Iterator[E] {
    private var i = 0
    def hasNext = i < length
    def next() = { i += 1; elems(i - 1) }
  }

  def build[F : Manifest]() = new Buffer[F]

  def +=(e: E) {
    if (length == capacity) {
      capacity = 2 * capacity
      val nelems = new Array[E](capacity) // 参见说明
      for (i <- 0 until length) nelems(i) = elems(i)
      elems = nelems
    }
    elems(length) = e
    length += 1
  }
}
```

说明：在本例中有一个额外的复杂性，它跟高等类型没啥关系。为了构造出泛型的Array[E]，类型E必须满足我们在第17章讨论过的Manifest上下文界定。

上述示例展示了高等类型的典型用例。Iterator依赖Container，但Container不是一个普通的类型——它是制作类型的机制。

Scala集合类库中的Iterable特质并不带有显式的参数用于制作集合，而是使用隐式参数来带出一个对象用于构建目标集合。关于隐式参数的更多细节参见第21章。

练习

1. 实现一个Bug类，对沿着水平线爬行的虫子建模。move方法向当前方向移动，turn方法让虫子转身，show方法打印出当前的位置。让这些方法可以被串接调

用。例如：

```
bugsy.move(4).show().move(6).show().turn().move(5).show()
```

上述代码应显示 4 10 5。

2. 为前一个练习中的Bug类提供一个流利接口，达到能编写如下代码的效果：

```
bugsy move 4 and show and then move 6 and show turn around move 5 and show
```

3. 完成18.1节中的流利接口，以便我们可以做出如下调用：

```
book set Title to "Scala for the Impatient" set Author to "Cay Horstmann"
```

4. 实现18.2节中被嵌套在Network类中的Member类的equals方法。两个成员要想相等，必须属于同一个网络。
5. 考虑如下类型别名

```
type NetworkMember = n.Member forSome { val n: Network }
```

和函数

```
def process(m1: NetworkMember, m2: NetworkMember) = (m1, m2)
```

这与18.8节中的process函数有什么不同？

6. Scala类库中的Either类型可以被用于要么返回结果，要么返回某种失败信息的算法。编写一个带有两个参数的函数：一个已排序整型数组和一个整数值。要么返回该整数值在数组中的下标，要么返回最接近该值的元素的下标。使用一个中置类型作为返回类型。
7. 实现一个方法，接受任何具备如下方法的类的对象和一个处理该对象的函数。调用该函数，并在完成或有任何异常发生时调用close方法。

```
def close(): Unit
```

8. 编写一个函数printValues，带有三个参数f、from和to，打印出所有给定区间范围内的输入值经过f计算后的结果。这里的f应该是任何带有接受Int产出Int的apply方法的对象。例如：

```
printValues((x: Int) => x * x, 3, 6) // 将打印 9 16 25 36
printValues(Array(1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55), 3, 6) // 将打印 3 5 8 13
```

9. 考虑如下对物理度量建模的类：

```
abstract class Dim[T](val value: Double, val name: String) {
  protected def create(v: Double): T
  def +(other: Dim[T]) = create(value + other.value)
  override def toString() = value + " " + name
}
```

以下是具体子类：

```
class Seconds(v: Double) extends Dim[Seconds](v, "s") {
  override def create(v: Double) = new Seconds(v)
}
```

但现在不清楚状况的人可能会定义

```
class Meters(v: Double) extends Dim[Seconds](v, "m") {
  override def create(v: Double) = new Seconds(v)
}
```

允许米（Meters）和秒（Seconds）相加。使用自身类型来防止发生这样的情况。

10. 自身类型通常可以被扩展自类的特质替代，但某些情况下使用自身类型会改变初始化和重写的顺序。构造出这样的一个示例。

267

第19章　解　　析

本章的主题 A3

- 19.1　文法——第286页
- 19.2　组合解析器操作——第287页
- 19.3　解析器结果变换——第289页
- 19.4　丢弃词法单元——第291页
- 19.5　生成解析树——第291页
- 19.6　避免左递归——第292页
- 19.7　更多的组合子——第294页
- 19.8　避免回溯——第296页
- 19.9　记忆式解析器——第297页
- 19.10 解析器说到底是什么——第297页
- 19.11 正则解析器——第299页
- 19.12 基于词法单元的解析器——第299页
- 19.13 错误处理——第302页
- 练习——第302页

Chapter 19

在本章中，你将会看到如何使用“组合子解析器”库来分析固定结构的数据。这样的数据包括以某种编程语言编写的程序，或者是HTTP或JSON格式的数据。并不是所有人都需要针对这些语言编写解析器，因此你可能觉得本章内容对你的工作帮助不大。如果你熟悉文法和解析器的基本概念，最好也快速地浏览一下本章的内容，因为Scala的解析器库是一个很好的在Scala语言中内嵌领域特定语言的高级示例。

本章的要点包括：

- 文法定义中的二选一、拼接、选项和重复在Scala组合子解析器中对应为|、~、opt和rep。
- 对于RegexParsers而言，字符串字面量和正则表达式匹配的是词法单元。
- 用^^来处理解析结果。
- 在提供给^^的函数中使用模式匹配来将~结果拆开。
- 用~>或<~来丢弃那些在匹配后不再需要的词法单元。
- repsep组合子处理那些常见的用分隔符分隔开的条目。
- 基于词法单元的解析器对于解析那种带有保留字和操作符的语言很有用。准备好定义你自己的词法分析器。
- 解析器是消费读取器并产出解析结果：成功、失败或错误的函数。

- Failure结果提供了用于错误报告的明细信息。
- 你可能会想要添加failure语句到你的文法当中来改进错误提示的质量。
- 凭借操作符符号、隐式转换和模式匹配，解析器组合子类库让任何能理解无上下文文法的人都可以很容易地编写解析器。就算你并不急于编写自己的解析器，也会觉得这是一个有着实际用途的领域特定语言的很有意思的案例研究。

19.1 文法

要理解Scala解析类库，你需要知道一些形式语言理论中的概念。所谓文法（grammar），指的是一组用于产出所有遵循某个特定结构的字符串的规则。例如，我们可以说某个算术表达式由以下规则给出：

- 每个整数都是一个算术表达式。
- + - * 是操作符。
- 如果*left*和*right*是算术表达式，而*op*是操作符的话，*left op right*也是算术表达式。
- 如果*expr*是算术表达式，则（*expr*）也是算术表达式。

根据这些规则，3+4和(3+4)*5都是算术表达式，而3+)或3^4或3+x都不是。

文法通常以一种被称为巴科斯范式（BNF）的表示法编写。以下是我们的表达式语言的BNF定义：

```
op ::= "+" | "-" | "*"
expr ::= number | expr op expr | "(" expr ")"
```

这里的number并没有被定义。我们可以像这样来定义它：

```
digit ::= "0" | "1" | "2" | "3" | "4" | "5" | "6" | "7" | "8" | "9"
number ::= digit | digit number
```

不过在实际操作当中，更高效的做法是在解析开始之前就收集好数字，这个单独的步骤叫做词法分析（lexical analysis）。词法分析器（lexer）会丢弃掉空白和注释并形成词法单元（token）——标识符、数字或符号。在我们的表达式语言中，词法单元为number和符号 + - * ( )。

270

注意op和expr不是词法单元。它们是结构化的元素，是文法的作者创造出来的，目

的是产出正确的词法单元序列。这样的符号被称为*非终结符号*。其中有个非终结符号位于层级的顶端，在我们的示例当中就是expr。这个非终结符号也被称为*起始符号*。要产出正确格式的字符串，你应该从起始符号开始，持续应用文法规则，直到所有的非终结符号都被替换掉，只剩下词法单元。例如如下的推导过程：

```
expr -> expr op expr -> number op expr ->
  number "+" expr -> number "+" number
```

表明3+4是一个合法的表达式。

最常用的“扩展巴科斯范式”，或称EBNF，允许给出可选元素和重复。我将使用大家熟悉的正则操作符? * +来分别表示0个或1个、0个或更多、1个或更多。举例来说，一个逗号分隔数字列表可以用以下文法描述：

```
numberList ::= number ( "," numberList )?
```

或者

```
numberList ::= number ( "," number )*
```

作为另一个EBNF的示例，让我们对算术表达式的文法做一些改进，让它支持操作符优先级。以下是修改过后的文法：

```
expr ::= term ( ( "+" | "-" ) expr )?
term ::= factor ( "*" factor )*
factor ::= number | "(" expr ")"
```

19.2 组合解析器操作

为了使用Scala解析库，我们需要提供一个扩展自Parsers特质的类并定义那些由基本操作组合起来的解析操作，基本操作包括：

- 匹配一个词法单元
- 在两个操作之间做选择（|）
- 依次执行两个操作（~）
- 重复一个操作（rep）
- 可选择地执行一个操作（opt）

如下这个解析器可以识别算术表达式。它扩展自RegexParsers，这是Parsers的一个子特质，可以用正则表达式来匹配词法单元。在这里，我们用正则表达式"[0-9]+".r来表示number：

271

```
class ExprParser extends RegexParsers {
  val number = "[0-9]+".r

  def expr: Parser[Any] = term ~ opt(("+" | "-") ~ expr)
  def term: Parser[Any] = factor ~ rep("*" ~ factor)
  def factor: Parser[Any] = number | "(" ~ expr ~ ")"
}
```

注意这个解析器是直接从前一节的EBNF翻译过来的。

只是简单地用~操作符来组合各个部分，并使用opt和rep来取代?和*。

在我们的示例中，每个函数的返回类型都是Parser[Any]。这个类型并不十分有用，我们将在19.3节改进它。

要运行该解析器，可以调用继承下来的parse方法，例如：

```
val parser = new ExprParser
val result = parser.parseAll(parser.expr, "3-4*5")
if (result.successful) println(result.get)
```

parseAll方法接受两个参数：要调用的解析方法——即与文法的起始符号对应的那个方法——和要解析的字符串。

说明：还有另一个版本的parse方法，从字符串最左边开始解析，直到不能找到其他匹配项的时候为止。这个方法并不十分有用；例如，parser.parse(parser.expr, "3-4/5")会解析3-4，然后在它不能处理的/处直接停止解析，也不报错。

上述程序片段的输出为：

```
((3~List())~Some((-~((4~List((*~5)))~None))))
```

要解读上面这个输出，你需要知道如下几点：

- 字符串字面量和正则表达式返回String值。
- p ~ q 返回~样例类的一个实例，这个样例类和对偶很相似。

- opt(p) 返回一个Option，要么是Some(...)，要么是None。
- rep(p) 返回一个List。

对expr的调用返回的结果是一个term（以粗体显示）加上一个可选的部分——Some(...)，我就不继续分析了。

由于term的定义为：

```
def term = factor ~ rep("*" ~ factor)
```

272

它返回的结果是一个factor加上一个List。这是个空列表，因为在-的左边的子表达式中没有*。

当然了，这个结果没什么让人感到兴奋的。在19.3节，你将看到如何将它变成更有用的东西。

19.3 解析器结果变换

与其让解析器构建出一整套由~、可选项和列表构成的复杂结构，不如将中间输出变换成有用的形式。拿我们的算术表达式解析器来说，如果我们的目标是对表达式求值，那么每个函数，expr、term、factor都应该返回经过解析的子表达式的值。让我们从以下定义开始：

```
def factor: Parser[Any] = number | "(" ~ expr ~ ")"
```

我们想让它返回Int：

```
def factor: Parser[Int] = ...
```

当接收到整数时，我们想得到该整数的值：

```
def factor: Parser[Int] = number ^^ { _.toInt } | ...
```

这里的^^操作符将函数{ _.toInt }应用到number对应的解析结果上。

说明：~符号并没有什么特别的意义，它只是恰巧比~优先级低，但又比|的优先级更高而已。

假定expr被改成返回Parser[Int]，对"(" ~ expr ~ ")"求值的话，我们可以直接返回expr，

而expr会产出Int。以下是实现方式的一种；你将在19.4节看到另一个更简单的版本：

```
def factor: Parse[Int] = ... | "(" ~ expr ~ ")" ^^ {
  case _ ~ e ~ _ => e
}
```

在本例中，^^操作符的参数为偏函数{ case _ ~ e ~ _ => e }。

说明： ~组合子返回的是~样例类的实例而不是对偶，这样做的目的是为了更方便地做模式匹配。如果~返回的是对偶的话，你就必须用case ((_, e), _)而不是case _ ~ e ~ _了。

273

类似的模式匹配产出和或差。注意opt产出一个Option：要么是None，要么是Some(…)。

```
def expr: Parser[Int] = term ~ opt(("+" | "-") ~ expr) ^^ {
  case t ~ None => t
  case t ~ Some("+" ~ e) => t + e
  case t ~ Some("-" ~ e) => t - e
}
```

最后，要计算因子的乘积，注意rep("*" ~ factor)产出的是一个List，其元素形式为"*" ~ f，其中f是一个Int。我们需要提取出每个~对偶中的第二个组元并计算它们的乘积：

```
def term: Parser[Int] = factor ~ rep("*" ~ factor) ^^ {
  case f ~ r => f * r.map(_._2).product
}
```

在本例中，我们只是简单地计算出表达式的值。要构建编译器或解释器的话，通常的目标是构建一棵解析树（parse tree）——一个描述解析结果的树形结构；参见19.5节。

注意： 你也可以写p?而不是opt(p)，写p*而不是rep(p)，例如：

```
def expr: Parser[Any] = term ~ (("+" | "-") ~ expr)?
def term: Parser[Any] = factor ~ ("*" ~ factor)*
```

使用熟悉的操作符看上去是个不错的主意，但问题是它们与^^有冲突。你必须添加另一组圆括号，比如：

```
def term: Parser[Any] = factor ~ (("*" ~ factor)*) ^^ { ... }
```

因此，我倾向于使用opt和rep。

19.4 丢弃词法单元

正如你在前一节看到的，我们在分析匹配项时，处理那些词法单元的过程很单调无趣。对于解析来说，词法单元是必需的，但在匹配之后它们通常可以被丢弃掉。~>和<~操作符可以用来匹配并丢弃词法单元。举例来说，"*" ~> factor的结果只是factor的计算结果，而不是"*" ~ f的值。用这种表示法，我们可以将term函数简化为：

```
def term = factor ~ rep("*" ~> factor) ^^ {
  case f ~ r => f * r.product
}
```

同样地，我们也可以丢弃掉某个表达式外围的圆括号，就像这样：

```
def factor = number ^^ { _.toInt } | "(" ~> expr <~ ")"
```

在表达式"(" ~> expr <~ ")"中，我们不再需要做变换，因为它的值现在就是e，已经可以产出结果Int。 274

注意~>和<~操作符的“箭头”指向被保留下来的部分。

注意：在同一个表达式中使用多个~、~>和<~时需要特别小心。例如：

```
"if" ~> "(" ~> expr <~ ")" ~ expr
```

可惜这个表达式并不仅仅丢弃掉")"，而是整个子表达式 ")" ~ expr。解决办法是使用圆括号："if" ~> "(" ~> (expr <~")") ~ expr。

19.5 生成解析树

先前示例中的解析器只是计算数值结果。当你构建解释器或者编译器的时候，你会想要构建出一棵解析树。这通常是用样例类来实现的。举例来说，如下的类可以表示一个算术表达式：

```
class Expr
case class Number(value: Int) extends Expr
case class Operator(op: String, left: Expr, right: Expr) extends Expr
```

解析器的工作就是将诸如3+4*5这样的输入变换成如下的样子：

```
Operator("+", Number(3), Operator("*", Number(4), Number(5)))
```

在解释器中，这样的表达式可以被求值。在编译器中，它可以被用来生成代码。要生成解析树，你需要用^^操作符，给出产生树节点的函数。例如：

```
class ExprParser extends RegexParsers {
  ...
  def term: Parser[Expr] = (factor ~ opt("*" ~> term)) ^^ {
    case a ~ None => a
    case a ~ Some(b) => Operator("*", a, b)
  }
  def factor: Parser[Expr] = wholeNumber ^^ (n => Number(n.toInt)) |
    "(" ~> expr <~ ")"
}
```

275

19.6 避免左递归

如果解析器函数在解析输入之前就调用自己的话，就会一直递归下去。例如如下这个函数，它的本意是要解析由1组成的任意长度的序列：

```
def ones: Parser[Any] = "1" ~ ones
```

这样的函数我们称之为*左递归*的。要避免递归，你可以重新表述一下文法。以下是两种可能的选择：

```
def ones: Parser[Any] = "1" ~ ones | "1"
```

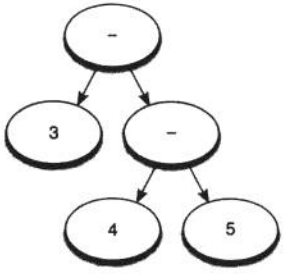
或

```
def ones: Parser[Any] = rep1("1")
```

这个问题在现实中经常出现。拿我们的算术表达式解析器来说：

```
def expr: Parser[Any] = term ~ opt(("+" | "-") ~ expr)
```

expr的规则对于减法来说存在一个很不幸的效果，表达式的分组顺序是错的。当输入为3-4-5时，表达式解析出来是这样的：



也就是说，3被接受为term，而-4-5被作为"-" ~ expr。这就产出了错误的结果4，而不是-6。

我们可以把文法颠倒过来吗？

```
def expr: Parser[Any] = expr ~ opt(("+" | "-") ~ term)
```

这样我们可能就能得到正确的解析树。但是这行不通——这个expr函数是左递归的。

原来的版本消除了左递归，但代价是计算解析结果更难了。你需要收集中间结果，然后按照正确的顺序组合起来。

276

如果能用重复项的话，收集中间结果就会比较容易，因为重复项能产出收集到的值的List。举例来说，expr可以看做是一组由+或-组合起来的term值：

```
def expr: Parser[Any] = term ~ rep(("+" | "-") ~ term)
```

如果要对这个表达式求值，则把重复项中的每个s ~ t都根据s是"+"还是"-"分别替换成t或-t，然后计算列表之和。

```
def expr: Parser[Int] = term ~ rep(
  ("+" | "-") ~ term ^^ {
    case "+" ~ t => t
    case "-" ~ t => -t
  }) ^^ { case t ~ r => t + r.sum }
```

如果重写文法太过麻烦的话，可参见19.9节中介绍的另一种方案。

19.7 更多的组合子

rep方法匹配零个或多个重复项。表19-1展示了该组合子的不同变种。其中最常用的是repsep。举例来说，一个以逗号分隔的数字列表可以被定义为：

```
def numberList = number ~ rep("," ~> number)
```

或者更精简的版本：

```
def numberList = repsep(number, ",")
```

表19-2展示了其他偶尔会用得到的组合子。into组合子可以存储先前组合子的信息到变量中供之后的组合子使用。例如在如下文法规则当中：

```
def term: Parser[Any] = factor ~ rep("*" ~> factor)
```

可以将第一个因子存入变量，就像这样：

```
def term: Parser[Int] = factor into { first =>
  rep("*" ~> factor) ^^ { first * _.prodcuct }
}
```

log组合子可以帮助我们调试文法。将解析器p替换成log(p)(str)，你将在每次p被调用时得到一个日志输出。例如：

```
def factor: Parser[Int] = log(number)("number") ^^ { _.toInt } | ...
```

产出类似如下这样的输出：

```
trying number at scala.util.parsing.input.CharSequenceReader@76f7c5
number --> [1.2] parsed: 3
```

277

表19-1 用于表示重复项的组合子

组合子	描述	说明
rep(p)	0个或更多p的匹配项	
rep1(p)	1个或多个p的匹配项	rep1("[" ~> expr <~ "]")将产出一个被包在方括号内的表达式的列表——比如可以用来给出多维数组的界限
rep1(p, q) 其中p和q的类型为Parser[P]	一个p的匹配项加上0个或更多q的匹配项	

（续表）

组合子	描述	说明
repN(n, p)	n个p的匹配项	repN(4, number)将匹配一个由四个数字组成的序列，比如可以用来给出一个长方形
repsep(p, s) rep1sep(p, s) 其中p的类型为Parser[P]	0个或更多/1个或多个p的匹配项，以s的匹配项分隔开。结果是一个List[P]；s会被丢弃掉	repsep(expr, ",")将产出一个由逗号分隔开的表达式的列表。对于解析函数调用中传入函数的参数列表很有用
chain1(p, s)	和rep1sep类似，不过s必须在匹配到每个分隔符时产出一个二元函数用来组合相邻的两个值。如果p产出值v_0, v_1, v_2, ...，而s产出函数f_1,f_2, ...，结果就是$(v_0 f_1 v_1) f_2 v_2$ ...	chain1(number ^^ { _.toInt }, "*" ^^^ { _ * _ })将会计算一个以*分隔开的整数序列的乘积

表19-2 其他组合子

组合子	描述	说明
p ^^^ v	类似^^，不过返回一个恒定的结果	对于解析字面量很有用："true" ^^^ true
p into f或p >> f	f是一个以p的计算结果作为参数的函数。可用于将p的计算结果绑定到变量	(number ^^ { _.toInt }) >> { n => repN(n, number) }将解析一个数字的序列，其中第一个数字表示接下来还有多少个数字要一起解析出来
p ^? f　　p ^? (f, error)	类似^^，不过接受一个偏函数f作为参数。如果f不能被应用到p的结果时解析会失败。在第二个版本中，error是一个以p的结果为参数的函数，产出错误提示字符串	ident ^? (symbols, "undefined symbol" + _)将会在symbols映射中查找ident，如果映射中没有则报告错误。注意映射可以被转换成偏函数
log(p)(str)	执行p并打印出日志消息	log(number)("number") ^^ { _.toInt }将会在每次解析到数字时打印一个消息
guard(p)	调用p，可能成功，也可能失败，然后将输入恢复，就像p没有被调用过一样	对于向前看很有用。举例来说，为了区分变量和函数调用，你可以用guard(ident ~ "(")
not(p)	调用p，如果p失败则成功，如果p成功则失败	

278

（续表）

组合子	描述	说明
p ~! q	类似~，不过如果第二个匹配失败，则失败会变成一个错误，将阻止当前表达式外围带|的表达式的回溯解析	参见19.8节
accept(descr, f)	接受被偏函数f接受的项，返回函数调用的结果。字符串descr用来在失败消息中描述预期的项	accept("string literal", { case t: lexical.StringLit => t.chars })
success(v)	对于值v总是成功	可用于添加值v到结果当中
failure(msg) err(msg)	以给定的错误提示失败	如何改进错误提示可参见19.13节
phrase(p)	如果p成功则成功，不留下已经解析过的输入	对于定义parseAll方法很有用；示例参见19.12节
positioned(p)	为p的结果添加位置信息（p的结果必须扩展自Positional）	对于在解析完成后报告错误很有用

279

19.8 避免回溯

每当二选一的p | q被解析而p失败时，解析器会用同样的输入尝试q。这样的回溯（backtracking）很低效。考虑带有如下规则的算术表达式解析器：

```
def expr: Parser[Any] = term ~ ("+" | "-") ~ expr | term
def term: Parser[Any] = factor ~ "*" ~ term | factor
def factor: Parser[Any] = "(" ~ expr ~ ")" | number
```

如果表达式(3+4)*5被解析，term将匹配整个输入。接下来"+"或"-"的匹配会失败，解析器回溯到第二个选项，再一次解析term。

通常我们可以通过重新整理文法规则来避免回溯。例如：

```
def expr: Parser[Any] = term ~ opt(("+" | "-") ~ expr)
def term: Parser[Any] = factor ~ rep("*" ~ factor)
```

你可以用~!操作符而不是~来表示我们不需要回溯。

```
def expr: Parser[Any] = term ~! opt(("+" | "-") ~! expr)
def term: Parser[Any] = factor ~! rep("*" ~! factor)
```

```
def factor: Parser[Any] = "(" ~! expr ~! ")" | number
```

当p ~! q被解析而q失败时，在该表达式外围带|的表达式中其他选项不会被尝试。举例来说，如果factor找到了一个"("但接下来的expr不匹配的话，解析器不会哪怕只是尝试去匹配number。

19.9 记忆式解析器

记忆式解析器使用一个高效的解析算法，该算法会捕获到之前的解析结果。这样做有两个好处：

- 解析时间可以确保与输入长度成比例关系。
- 解析器可接受左递归的语法。

要在Scala中使用记忆式解析，你需要：

1. 将PackratParsers特质混入你的解析器。
2. 使用val或lazy val而不是def来定义你的每个解析函数。这很重要，因为解析器会缓存这些值，且解析器有赖于它们始终是同一个这个事实。（def每次被调用会返回不同的值。）
3. 让每个解析方法返回PackratParser[T]而不是Parser[T]。
4. 使用PackratReader并提供parseAll方法（PackratParsers特质并不包含这个方法，这一点很烦人）。

280

例如：

```
class OnesPackratParser extends RegexParsers with PackratParsers {
  lazy val ones: PackratParser[Any] = ones ~ "1" | "1"

  def parseAll[T](p: Parser[T], input: String) =
    phrase(p)(new PackratReader(new CharSequenceReader(input)))
}
```

19.10 解析器说到底是什么

从技术上讲，Parser[T]是一个带有单个参数的函数，参数类型为Reader[Elem]，而返回值的类型为ParseResult[T]。在本节中，我们将更仔细地看一下这些类型。

类型Elem是Parsers特质的一个抽象类型（有关抽象类型的更多信息参见18.12节）。RegexParsers特质将Elem定义为Char，而StdTokenParsers特质将Elem定义为Token（我们将在19.12节中介绍如何进行基于词法单元的解析）。

Reader[Elem]从某个输入源读取一个Elem值（即字符或词法单元）的序列，并跟踪它们的位置，用于报告错误。

当我们把读取器作为参数去调用Parser[T]时，它将返回ParseResult[T]的三个子类当中的一个的对象：Success[T]、Failure或Error。

Error将终止解析器以及任何调用该解析器的代码。它可能在如下情形中发生：

- 解析器 p ~! q 未能成功匹配q。
- commit(p)失败。
- 遇到了err(msg)组合子。

Failure只不过意味着某个解析器匹配失败；通常情况下它将会触发其外围带|的表达式中的其他选项。

281

Success[T]最重要的是带有一个类型为T的result。它同时还带有一个名为next的Reader[Elem]，包含了匹配到的内容之外其他将被解析的输入。

考虑我们的算术表达式解析器中的如下部分：

```
val number = "[0-9]+".r
def expr = number | "(" ~ expr ~ ")"
```

我们的解析器扩展自RegexParsers，该特质有一个从Regex到Parser[String]的隐式转换。正则表达式number被转换成这样一个解析器——以Reader[Char]为参数的函数。

如果读取器中最开始的字符与正则表达式相匹配，解析器函数将返回Success[String]。返回对象中的result属性是已匹配的输入，而next属性则为移除了匹配项的读取器。

如果读取器中最开始的字符与正则表达式不匹配，解析器函数将返回Failure对象。

| 方法将两个解析器组合到一起。也就是说，如果p和q是函数，则p | q也是函数。组合在一起的函数以一个读取器作为参数，比如说r。它将首先调用p(r)。如果这次调用返回Success或Error，那么这就是p | q的返回值。否则，返回值就是q(r)的计算结果。

19.11 正则解析器

RegexParsers特质在我们到目前为止的所有解析器示例中都用到了，它提供了两个用于定义解析器的隐式转换：

- literal从一个字符串字面量（比如"+"）做出一个Parser[String]。
- regex从一个正则表达式（比如"[0-9]".r）做出一个Parser[String]。

默认情况下，正则解析器会跳过空白。如果你对空白的使用不同于缺省的"""\s+""".r所定义的（比如你想要跳过注释），则可以用自己的定义重写whiteSpace。如果你不想跳过空白，则可以用

```
override val whiteSpace = "".r
```

JavaTokenParsers特质扩展自RegexParsers并给出了五个词法单元的定义，如表19-3所示。这些定义没有一个与Java中的写法完全对应，因此这个特质的适用范围是有限的。

282

表19-3 JavaTokenParsers中预定义的词法单元

词法单元	正则表达式
ident	[a-zA-Z_]\w*
wholeNumber	-?\d+
decimalNumber	(\d+(\.\d*)?|\d*\.\d+)
stringLiteral	"([^"\p{Cntrl}\\]|\\[\\/bfnrt]|\\u[a-fA-F0-9]{4})*"
floatingPointNumber	-?(\d+(\.\d*)?|\d*\.\d+)([eE][+-]?\d+)?[fFdD]?

19.12 基于词法单元的解析器

基于词法单元的解析器使用Reader[Token]而不是Reader[Char]。Token类型定义在特质scala.util.parsing.combinator.token.Tokens特质中。StdTokens子特质定义了四种在解析编程语言时经常会遇到的词法单元：

- Identifier（标识符）
- Keyword（关键字）
- NumericLit（数值字面量）
- StringLit（字符串字面量）

StandardTokenParsers类提供了一个产出这些词法单元的解析器。标识符由字母、数字或_组成，但不以数字开头。

注意：字母和数字的规则与Java或Scala中存在细微差异。任何语言中的数字都是支持的，但属于“辅助”（supplementary）区间（U+FFFF以上的）的字母被排除在外。

数值字面量是一个数字的序列。字符串字面量被包括在"..."或'...'中，不带转义符。被包含在/* ... */中或者从//开始直到行尾的注释被当做空白处理。

当你扩展该解析器时，可将任何需要用到的保留字和特殊词法单元分别添加到

283

lexical.reserved和lexical.delimiters集中：

```
class MyLanguageParser extends StandardTokenParser {
  lexical.reserved += ("auto", "break", "case", "char", "const", ...)
  lexical.delimiters += ("=", "<", "<=", ">", ">=", "==", "!=", ...)
  ...
}
```

当解析器遇到保留字时，该保留字将成为Keyword而不是Identifier。

解析器根据“最大化匹配”原则拣出定界符（delimiter）。举例来说，如果输入包含<=，你将会得到单个词法单元，而不是一个<加上=的序列。

ident函数解析标识符；而numericLit和stringLit解析字面量。

举例来说，以下是使用StandardTokenParsers实现的算术表达式文法：

```
class ExprParser extends StandardTokenParsers {
  lexical.delimiters += ("+", "-", "*", "(", ")")

  def expr: Parser[Any] = term ~ rep(("+" | "-") ~ term)
  def term: Parser[Any] = factor ~ rep("*" ~> factor)
  def factor: Parser[Any] = numericLit | "(" ~> expr <~ ")"

  def parseAll[T](p: Parser[T], in: String): ParseResult[T] =
    phrase(p)(new lexical.Scanner(in))
}
```

注意你需要提供parseAll方法，这个方法在StandardTokenParsers特质中并未定义。在该方法中，你用到的是一个lexical.Scanner，这是StdLexical特质提供的Reader[Token]。

提示：如果你需要处理不同词法单元的语言，要调整词法单元解析器是很容易的。扩展StdLexical并重写token方法以识别你需要的那些词法单元类型。可以查看StdLexical的源码作为指引——代码很短。然后再扩展StdTokenParsers并重写lexical：

```
class MyParser extends StdTokenParsers {
  val lexical = new MyLexical
  ...
}
```

284

提示：StdLexical的token方法写起来挺枯燥的。如果我们能用正则表达式来定义词法单元就更好了。扩展StdLexical时，添加如下定义：

```
def regex(r: Regex): Parser[String] = new Parser[String] {
  def apply(in: Input) = r.findPrefixMatchOf(
    in.source.subSequence(in.offset, in.source.length)) match {
      case Some(matched) =>
        Success(in.source.subSequence(in.offset,
          in.offset + matched.end).toString, in.drop(matched.end))
      case None => Failure("string matching regex '" + r +
          "' expected but " + in.first + " found", in)
    }
}
```

这样一来，你就可以在token方法中使用正则表达式了，就像这样：

```
override def token: Parser[Token] = {
  regex("[a-z][a-zA-Z0-9]*".r) ^^ { processIdent(_) } |
  regex("0|[1-9][0-9]*".r) ^^ { NumericLit(_) } |
  ...
}
```

19.13 错误处理

当解析器不能接受某个输入时，你会想要得到准确的消息，指出错误发生的位置。

解析器会生成一个错误提示，描述解析器在某个位置无法继续了。如果有多个失败点，最后访问到的那个将被报告。

在定义二选一或多选一的时候，你可能需要时刻记得有错误报告这回事。举例来说，假定你有如下规则：

```
def value: Parser[Any] = numericLit | "true" | "false"
```

如果解析器未能匹配它们当中的任何一个，那么得知输入未能匹配"false"这样的错误提示就不是很有用。解决方案是添加一个failure语句，显式地给出错误提示：

```
def value: Parser[Any] = numericLit | "true" | "false" |
  failure("Not a valid value")
```

如果解析器失败了，parseAll方法将返回Failure结果。它的msg属性是一个错误提
285 示，让你显示给用户。而next属性是指向失败发生时还未解析的输入的Reader。你会想要显示行号和列，这些值可以通过next.pos.line和next.pos.column得到。

最后，next.first是失败发生时被处理的词法元素。如果你用的是RegexParsers特质，那么这个元素就是一个Char，对于错误报告而言，并不是很有用。但对于词法单元解析器而言，next.first是一个词法单元，是值得报告的。

提示：如果你想要在成功解析后报告那些你检测到的错误（比如编程语言中的类型错误），那么你可以用positioned组合子来将位置信息添加到解析结果当中。返回结果的类型必须扩展Positional特质。例如：

```
def vardecl = "var" ~ positioned(ident ^^ { Ident(_) }) ~ "=" ~ value
```

练习

1. 为算术表达式求值器添加/和%操作符。
2. 为算术表达式求值器添加^操作符。在数学运算当中，^应该比乘法的优先级更

高，并且它应该是右结合的。也就是说，4^2^3应该得到4^(2^3)，即65 536。

3. 编写一个解析器，将整数的列表（比如(1, 23, −79)）解析为List[Int]。
4. 编写一个能够解析ISO 8601中的日期和时间表达式的解析器。你的解析器应返回一个java.util.Date对象。
5. 编写一个解析XML子集的解析器。要求能够处理如下形式的标签：<ident> ... </ident>或<ident/>。标签可以嵌套。处理标签中的属性。属性值可以以单引号或双引号定界。你不需要处理字符数据（即位于标签中的文本或CDATA段）。你的解析器应该返回一个Scala XML的Elem值。难点是要拒绝不匹配的标签。提示：into、accept。
6. 假定19.5节中的那个解析器用如下代码补充完整：

```
class ExprParser extends RegexParsers {
  def expr: Parser[Expr] = (term ~ opt(("+" | "-") ~ expr)) ^^ {
    case a ~ None => a
    case a ~ Some(op ~ b) => Operator(op, a, b)
  }
  ...
}
```

286

可惜这个解析器计算出来的表达式树是错误的——同样优先级的操作符按照从右到左的顺序求值。修改该解析器，使它计算出正确的表达式树。举例来说，3−4−5应得到Operator("-", Operator("-", 3, 4), 5)。

7. 假定在19.6节中，我们首先将expr解析成一个带有操作和值的~列表：

```
def expr: Parser[Int] = term ~ rep(("+" | "-") ~ term) ^^ {...}
```

要得到结果，我们需要计算$((t_0 \pm t_1) \pm t_2) \pm \ldots$用折叠（参见第13章）实现这个运算。

8. 给计算器程序添加变量和赋值操作。变量在首次使用时被创建。未初始化的变量为零。打印某值的方法是将它赋值给一个特殊的变量out。
9. 扩展前一个练习，让它变成一个编程语言的解析器，支持变量赋值、Boolean表达式，以及if/else和while语句。
10. 为前一个练习中的编程语言添加函数定义。

287

第20章　Actor

本章的主题 A3

- 20.1　创建和启动Actor——第306页
- 20.2　发送消息——第307页
- 20.3　接收消息——第308页
- 20.4　向其他Actor发送消息——第309页
- 20.5　消息通道——第310页
- 20.6　同步消息和Future——第311页
- 20.7　共享线程——第313页
- 20.8　Actor的生命周期——第316页
- 20.9　将多个Actor链接在一起——第317页
- 20.10 Actor的设计——第318页
- 练习——第320页

Chapter 20

actor提供了并发程序中与传统的基于锁的结构不同的另一种选择。通过尽可能避免锁和共享状态，actor使得我们能够更容易地设计出正确、没有死锁或争用状况的程序。Scala类库提供了一个actor模型的简单实现，这也是我们在本章要介绍的。除此之外还有其他更高级的actor类库，比如Akka（http://akka.io）。

本章的要点包括：

- 每个actor都要扩展Actor类并提供act方法。
- 要往actor发送消息，可以用 actor ! message。
- 消息发送是异步的："发完就忘"。
- 要接收消息，actor可以调用receive或react，通常是在循环中这样做。
- receive/react的参数是由case语句组成的代码块（从技术上讲这是一个偏函数）。
- 不同actor之间不应该共享状态。总是使用消息来发送数据。
- 不要直接调用actor的方法。通过消息进行通信。
- 避免同步消息——也就是说将发送消息和等待响应分开。
- 不同actor可以通过react而不是receive来共享线程，前提是消息处理器的控制流转足够简单。
- 让actor挂掉是OK的，前提是你有其他actor监控着actor的生死。用链接来设置监控关系。

20.1 创建和启动Actor

actor是扩展自Actor特质的类。该特质带有一个抽象方法act。我们可以重写这个方法来指定该actor的行为。

通常，act方法带有一个消息循环。

```
import scala.actors.Actor

class HiActor extends Actor {
  def act() {
    while (true) {
      receive {
        case "Hi" => println("Hello")
      }
    }
  }
}
```

act方法与Java中Runnable接口的run方法很相似。正如不同线程的run方法那样，不同actor的act方法也是并行运行的。不过，actor针对响应消息做了优化，而线程可以开展任意的活动。（对receive方法的解释参见20.3节。）

要启动一个actor，我们需要构造一个实例，并调用start方法：

```
val actor1 = new HiActor
actor1.start()
```

现在，actor1的act方法是并行运行的，你可以开始向它发送消息。调用start的线程会继续执行。

有时，我们需要临时创建actor而不是定义一个类。Actor伴生对象带有一个actor方法来创建和启动actor：

290

```
import scala.actors.Actor._

val actor2 = actor {
  while (true) {
    receive {
```

```
        case "Hi" => println("Hello")
      }
    }
  }
```

说明：有时，一个匿名的actor需要向另一个actor发送指向自己的引用。这个引用可以通过self属性获取。

20.2 发送消息

actor是一个处理异步消息的对象。你向某个actor发送消息，该actor处理消息，或许还会向其他actor发送消息做进一步的处理。

消息可以是任何对象。举例来说，前一节当中的actor在它们接收到字符串"Hi"时会执行某个动作。

要发送消息，我们可以用为actor定义的!操作符：

```
actor1 ! "Hi"
```

消息被送往该actor，当前线程继续执行。这样的做法称做“发完就忘”。我们也可以（但不常见）等待一个回复——参见20.6节。

一个好的做法是使用样例类作为消息。这样一来，actor就可以使用模式匹配来处理消息。

举例来说，假定我们有一个检查信用卡诈骗的actor。我们可能会想要向它发消息说某个记账动作正在进行。以下是相应的样例类：

```
case class Charge(creditCardNumber: Long, merchant: String, amount: Double)
```

你把该样例类的一个对象发送给actor：

```
fraudControl ! Charge(4111111111111111L, "Fred's Bait and Tackle", 19.95)
```

291

假定该actor的act方法包含一个如下形式的语句：

```
receive {
  case Charge(ccnum, merchant, amt) => ...
}
```

这样记账相关的值就可以通过变量ccnum、merchant和amt分别取到。

20.3 接收消息

发送到actor的消息被存放在一个“邮箱”中。receive方法从邮箱获取下一条消息并将它传递给它的参数，该参数是一个偏函数。例如：

```
receive {
  case Deposit(amount) => ...
  case Withdraw(amount) => ...
}
```

receive方法的参数是：

```
{
  case Deposit(amount) => ...
  case Withdraw(amount) => ...
}
```

这个代码块被转换成一个类型为PartialFunction[Any, T]的对象，其中T是case语句=>操作符右边的表达式的计算结果的类型。这是个“偏”函数，因为它只对那些能够匹配其中一个case语句的参数有定义。

receive方法将从邮箱中收来的消息传递给这个偏函数。

说明：消息投递的过程是异步的。你并不知道它们会以什么顺序到达，而你应该在设计时考虑到这一点，让应用程序不要依赖任何特定的消息投递顺序。

如果在receive方法被调用时并没有消息，则该调用会阻塞，直到有消息抵达。

如果邮箱中没有任何消息可以被偏函数处理，则对receive方法的调用也会阻塞，直到一个可以匹配的消息抵达。

注意：邮箱有可能被那些不与任何case语句匹配的消息占满。你可以添加一个case _语句来处理任意的消息。

邮箱会串行化消息。actor运行在单个线程中。它会先接收一条消息，然后接收下一

条。你不需要在actor的代码中担心争用状况。举例来说，假定有个actor会更新余额：

```
class AccountActor extends Actor {
  private var balance = 0.0

  def act() {
    while (true) {
      receive {
        case Deposit(amount) => balance += amount
        case Withdraw(amount) => balance -= amount
        ...
      }
    }
  }
}
```

不会有将增值和减值互掺在一起的危险。

注意： actor可以安全地修改它自己的数据。但如果它修改了在不同actor之间共享的数据，那么争用状况就有可能出现。

不要在不同的actor中使用共享的对象——除非你知道对这个对象的访问是线程安全的。理想情况下，actor除了自己的状态之外不应该访问或修改其他任何状态。不过，Scala并不强制推行这个策略。

20.4 向其他Actor发送消息

当运算被分拆到不同actor来并行处理问题的各个部分时，这些处理结果需要被收集到一起。actor可以将结果存入到一个线程安全的数据结构当中，比如一个并发的哈希映射，但actor模型并不鼓励使用共享数据。因而当actor计算出结果后，应该向另一个actor发送消息。

一个actor是如何知道应该往哪里发送计算结果的呢？这里有几个设计选择。

1. 可以有一些全局的actor。不过，当actor数量很多的时候，这个方案的伸缩性并不好。

293

2. actor可以构造成带有指向一个或更多actor的引用。
3. actor可以接收带有指向另一个actor的引用的消息。在请求中提供一个actor引用是很常见的做法，比如：

```
actor ! Compute(data, continuation)
```

这里的continuation是另一个actor，当结果被计算出来的时候应该调用该actor。

4. actor可以返回消息给发送方。receive方法会把sender字段设为当前消息的发送方。

注意：当actor握有对另一个actor的引用时，它只应该使用这个引用来发送消息，而不是调用方法。这样做不仅违背actor模型的精神，它同时还可能引发争用状况——这正是actor被设计出来要避免的问题。

20.5 消息通道

除了在你的应用程序中对actor共享引用的做法，你还可以共享消息通道给它们。这样做有两个好处：

1. 消息通道是类型安全的——你只能发送或接受某个特定类型的消息。
2. 你不会不小心通过消息通道调用到某个actor的方法。

消息通道可以是一个OutputChannel（带有!方法），也可以是一个InputChannel（带有receive或react方法）。Channel类同时扩展OutputChannel和InputChannel特质。

要构造一个消息通道，你可以提供一个actor：

```
val channel = new Channel[Int](someActor)
```

如果你不提供构造参数，那么消息通道就会绑到当前执行的这个actor上。

通常，你会告诉某个actor发送结果到一个输出消息通道。

```
case class Compute(input: Seq[Int], result: OutputChannel[Int])
class Computer extends Actor {
  public void act() {
    while (true) {
      receive {
```

```
        case Compute(input, out) => { val answer = ...; out ! answer }
      }
    }
  }
}
```

294

```
actor {
  val channel = new Channel[Int]
  val computeActor: Computer = ...
  val input: Seq[Double] = ...
  computeActor ! Compute(input, channel)
  channel.receive {
    case x => ... // 我们已知x是一个Int
  }
}
```

注意：我们在这里调用的是*channel*的receive而不是actor自己。如果你想要通过actor来接收响应，可以匹配一个!样例类的实例，就像这样：

```
receive {
  case !(channel, x) => ...
}
```

20.6 同步消息和Future

actor可以发送一个消息并等待回复，用!?操作符即可。例如：

```
val reply = account !? Deposit(1000)
reply match {
  case Balance(bal) => println("Current Balance: " + bal)
}
```

要想上述代码工作，接收方必须返回一个消息给发送方：

```
receive {
  case Deposit(amount) => { balance += amount; sender ! Balance(balance) }
```

```
  ...
}
```

发送方会阻塞，直到它接收到回复。

说明：除了用sender ! Balance(balance)，你也可以写reply(Balance(balance))。

注意：同步消息很容易引发死锁。通常而言，最好避免在actor的act方法里执行阻塞调用。

295

在一个健壮的系统当中，你可能不想对一个回复永远等待下去。在这个时候，可以用receiveWithin方法来指定你想要等待多少毫秒的时间。

如果在指定的时间内没有收到消息，你将会收到一个Actor.TIMEOUT对象。

```
actor {
  worker ! Task(data, self)
  receiveWithin(seconds * 1000) {
    case Result(data) => ...
    case TIMEOUT => log(...)
  }
}
```

说明：react方法也有一个带时间的版本，称做reactWithin。（对react的描述参见20.7节。）

除了等待对方返回结果之外，你也可以选择接收一个***future***——这是一个将在结果可用时产出结果的对象。使用!!方法即可做到：

```
val replyFuture = account !! Deposit(1000)
```

isSet方法会检查结果是否已经可用。要接收该结果，使用函数调用的表示法：

```
val reply = replyFuture()
```

这个调用将会阻塞，直到回复被发送。

说明：如果你立即就想从future接收返回的结果，那么你并没有享受到任何优于同步方法调用的好处。不过，actor可以将future放到一边，稍后再做处理，或将它交给其他actor。

20.7 共享线程

考虑一个发送消息给另一个actor的actor。如果每个actor都在单独的线程中运行，我们很容易实现控制流转。作为消息发送方的actor将消息放到邮箱中，然后它的线程继续执行。而每当有条目被放入邮箱时，作为消息接收方的actor的线程就会被唤醒。

有些程序所包含的actor是如此之多，以至于要为每一个actor创建单独的线程开销会很大。我们能不能在同一个线程中运行多个actor呢？让我们假定actor的大部分时间用于等待消息。与其让每个actor在单独的线程中阻塞，不如用一个线程来执行多个actor的消息处理函数。这样做的前提是每个消息处理函数只需要做比较小规模的工作，然后就继续等待下一条消息。

296

单从表面上看，这很像一个事件驱动的架构。不过，事件处理器编程的问题是“控制反转”。假定一个actor首先预期接收一个类型的消息，然后是另一个类型的消息。与直接编写顺序化的代码，先接收一个消息再接收另一个消息不同，事件处理器需要跟踪记录哪些消息已经被接收。

在Scala中你可以做得更好。react方法接受一个偏函数，并将它添加到邮箱，然后退出。假定我们有两个嵌套的react语句：

```
react { // 偏函数f1
  case Withdraw(amount) =>
  react { // 偏函数f2
    case Confirm() =>
      println("Confirming " + amount)
  }
}
```

这里我给react的偏函数参数命了名，以便我可以在解释控制流转的时候使用这些名称。

第一个react的调用将f1与actor的邮箱关联起来，然后退出。当Withdraw消息抵达时，f1被调用。偏函数f1也调用了react。这次调用把f2与actor的邮箱关联起来；然后退出。当Confirm消息抵达时，f2被调用。

说明：第二个react可能在一个单独的函数中。因此，react需要抛出异常，从而得以退出。

与第一个react关联的偏函数不会返回一个值——它执行了某些工作，然后执行下一个react，这就造成它自己的退出。退出意味着返回到协调actor的方法中。这样的一个函数的返回类型为Nothing，该类型用来表示非正常退出。

由于react会退出，因此你不能简单地将它放在while循环当中。比如：

```
def act() {
  while (true) {
    react { // 偏函数f1
      case Withdraw(amount) => println("Withdrawing " + amount)
    }
  }
}
```

297

当act被调用时，对react的调用将f1与邮箱关联起来，然后退出。当f1被调用时，它将会处理这条消息。不过，f1没有任何办法返回到循环当中——它只不过是一个小小的函数：

```
{ case Withdraw(amount) => println("Withdrawing " + amount) }
```

解决办法之一是在消息处理器中再次调用act方法：

```
def act() {
  react { // 偏函数f1
    case Withdraw(amount) => {
      println("Withdrawing " + amount)
      act()
    }
  }
}
```

这样做意味着用一个无穷递归替换掉无穷循环。

说明：这个递归并不会占用很大的栈空间。每次对react的调用都会抛出异常，从而清栈。

让每个消息处理器自己负责保持循环继续运行下去看上去并不很公平。有一些“控制流转组合子”可以自动产出这些循环。

loop组合子可以制作一个无穷循环：

```
def act() {
  loop {
    react {
      case Withdraw(amount) => process(amount)
    }
  }
}
```

如果你需要一个循环条件，可以用loopWhile：

```
loopWhile(count < max) {
  react {
    ...
  }
}
```

298

说明：eventloop方法可以制作出一个无穷循环套react的简化版，不过前提是偏函数不会再次调用react。

```
def act() {
  eventloop {
   case Withdraw(amount) => println("Withdrawing " + amount)
  }
}
```

20.8 Actor的生命周期

actor的act方法在actor的start方法被调用时开始执行。通常，actor接下来做的事情是进入某个循环，比如：

```
def act() {
  while (有更多事情要处理) {
    receive {
      ...
    }
  }
}
```

actor在如下情形之一会终止执行：

1. act方法返回。
2. act方法由于异常被终止。
3. actor调用exit方法。

说明： exit方法是个受保护的方法。它只能被Actor的子类中调用。例如：

```
val actor1 = actor {
  while (true) {
    receive {
      case "Hi" => println("Hello")
      case "Bye" => exit()
    }
  }
}
```

299

其他方法不能调用exit()来终止一个actor。

还有一个exit方法的重载版本可以接受一个参数描述退出原因。不带参数调用exit相当于调用exit('normal)。

当actor因一个异常终止时，退出原因就是UncaughtException样例类的一个实例。该样例类有如下属性：

- actor：抛出异常的actor。

- message：Some(msg)，其中msg是该actor处理的最后一条消息；或者None，如果actor在没来得及处理任何消息之前就挂掉的话。
- sender：Some(channel)，其中channel是代表最后一条消息的发送方的输出消息通道；或者None，如果actor在没来得及处理任何消息之前就挂掉的话。
- thread：actor退出时所在的线程。
- cause：相应的异常。

你将在20.9节看到如何获取退出原因。

说明：默认情况下，所有未处理的异常都会造成actor以一个UnhandledException的原因退出。这个缺省行为在大多数时候都讲得通。不过，你也可以改变这个行为，做法是重写exceptionHandler方法。该方法应该产出一个PartialFunction[Exception, Unit]。如果这个偏函数对异常有效，它将被调用，actor将以'normal原因退出。举例来说，如果你不把非受检异常当做非正常的话，可以提供如下处理器：

```
override def exceptionHandler = {
  case e: RuntimeException => log(e)
}
```

20.9 将多个Actor链接在一起

如果你将两个actor链接在一起，则每一个都会在另一个终止执行的时候得到通知。要建立这个关联关系，只需要简单地以另一个actor的引用调用link方法即可。

```
def act() {
  link(master)
  ...
}
```

链接是双向的。举例来说，如果监管actor在数个工作actor中分发工作任务，那么当某个工作actor挂掉的时候，监管actor应该知道，以便相应的工作任务可以被重新指派。反过来，如果监管actor挂掉了，工作actor也应该知道，以便可以停止工作。

注意：尽管链接是双向的，但link方法并不是对称的。你不能将link(worker)替换成worker.link(self)。该方法必须由请求链接的actor调用。

默认情况下，只要当前actor链接到的actor中有一个以非'normal原因退出，当前actor就会终止。在这种情况下，退出原因和链接到的那个actor的退出原因相同。

actor可以改变这个行为，做法是设置trapExit为true。这样修改后，actor会接收到一个类型为Exit的消息，该消息包含了那个正在终止的actor和退出原因。

```
override def act() {
  trapExit = true
  link(worker)
  while (...) {
    receive {
      ...
      case Exit(linked, UncaughtException(_, _, _, _, cause)) => ...
      case Exit(linked, reason) => ...
    }
  }
}
```

在操作actor时，允许它们挂掉是很正常的。只需要把每个actor链接到一个“监管”actor，由它来处理失败的actor，例如，将它们的工作重新分派，或重新启动它们。

在较大的系统中，你可以将你的actor进行分组，分到不同的区域，每一个区域都有自己的监管actor。

说明：当一个actor终止时，它仍然带有其内部状态和邮箱。如果你想要获取这些消息，则可以调用这个已终止的actor的restart方法。在这样做之前，你可能想要修复内部状态，或设置一个标志，表明该actor现在正以修复模式运行。另外你还需要重新建立链接（如果有的话），因为在终止时链接会被移除。

20.10 Actor的设计

到目前为止，你已经看到了使用和操作actor的基本方法，但是仅仅知道这些规则

还不足以告诉你应该如何设计你的应用程序。以下是一些建议：

1. 避免使用共享状态。actor不应该访问自身的实例变量之外的任何数据。任何它需要的数据都应该通过消息交给它。

   小心消息当中的可变状态。如果actor将指向可变对象的引用发送给另一个actor，则这两个actor将共享这个引用。如果你必须这样做，那么作为发送方的actor应立即清除自己握有的拷贝，通过这种方式把对象转移到接收方actor。 〈301

2. 不要调用actor的方法。如果actor调用另一个actor的方法的话，你将面临与传统并发编程同样的需要用锁来解决的同步问题。考虑用消息通道来避免任何类似这样的诱惑。
3. 保持每个actor的简单。当每个actor重复地执行某个简单工作时（接收工作任务，计算出结果，将结果传递给下一个actor），基于actor的程序最易于理解。
4. 将上下文数据包含在消息中。actor应该能够单独理解任何一个消息，而不需要跟踪相关消息。举例来说，如果你将工作拆分成n块，最好能指明某项工作任务是n项中的第i项。
5. 最小化给发送方的回复。actor的本意不是要做远程过程调用。你的工作任务应该被分发下去，流过一个由actor组成的网络，每个actor计算出部分答案，然后发送给另一些知道怎么合并出最终答案的actor。
6. 最小化阻塞调用。当actor阻塞时，它不能接收更多的消息，但那些向它发送消息的actor并不知道。这样造成的后果就是，消息将会积聚在阻塞的actor的邮箱中。对那些I/O活动，考虑使用非阻塞（或异步的）I/O，比如Java中的异步通道。

   避免使用同步调用。它们会阻塞，并很可能引发死锁。
7. 尽可能使用react。使用react的actor可以共享线程。只要消息处理器的工作是执行某个任务，然后退出，你就可以使用react。
8. 建立失败区。actor失败是OK的，只要它指派了另一个actor可以做清理工作。将相关的actor分组到不同的区域，对每个区域提供一个监管actor。监管actor应该只负责管理失败的actor。

练习

1. 编写一个程序，生成由n个随机数组成的数组（其中n是一个很大的值，比如1 000 000），然后通过将工作分发给多个actor的方式计算这些数的平均值，每个actor计算子区间内的值之和，将结果发送给一个能组合出结果的actor。
   如果你在双核或四核处理器上运行这个程序，和单线程的解决方案相比，会快多少？
302
2. 编写一个程序，读取一个大型图片到BufferedImage对象中，用javax.imageio.ImageIO.read方法。使用多个actor，每一个actor对图形的某一个条带区域进行反色处理。当所有条带都被反色后，输出结果。
3. 编写一个程序，对给定目录下所有子目录的所有文件中匹配某个给定的正则表达式的单词进行计数。对每一个文件各采用一个actor，另外再加上一个actor用来遍历所有子目录，还有一个actor将结果汇总到一起。
4. 修改前一个练习的程序，显示所有匹配的单词。
5. 修改前一个练习的程序，显示所有匹配的单词，每一个都带有一个包含它的文件的列表。
6. 编写一个程序，构造100个actor，这些actor使用while(true)/receive循环，当接收到'Hello消息时，调用println(Thread.currentThread)，同时构造另外100个actor，它们做同样的事，不过采用loop/react。将它们全部启动，给它们全部都发送一个消息。第一种actor占用了多少线程，第二种actor占用了多少线程？
7. 给练习3的程序添加一个监管actor，监控读取文件的actor并记录任何因IOException退出的actor。尝试通过移除那些计划要被处理的文件的方式触发IOException。
8. 展示一个基于actor的程序是如何在发送同步消息时引发死锁的。
9. 做出一个针对练习3的程序的有问题的实现，在这个实现当中，actor将更新一个共享的计数器。你能展示出程序运行是错误的吗？
303
10. 重写练习1的程序，使用消息通道来进行通信。

第21章　隐式转换和隐式参数

本章的主题 L3

- 21.1　隐式转换——第324页
- 21.2　利用隐式转换丰富现有类库的功能——第324页
- 21.3　引入隐式转换——第325页
- 21.4　隐式转换规则——第326页
- 21.5　隐式参数——第328页
- 21.6　利用隐式参数进行隐式转换——第329页
- 21.7　上下文界定——第330页
- 21.8　类型证明——第331页
- 21.9　@implicitNotFound注解——第333页
- 21.10 CanBuildFrom解读——第333页
- 练习——第336页

Chapter 21

隐式转换和隐式参数是Scala的两个功能强大的工具，在幕后处理那些很有价值的工作。在本章中，你将学习如何利用隐式转换丰富现有类的功能，以及隐式对象是如何被自动呼出用于执行转换或其他任务的。利用隐式转换和隐式参数，你可以提供优雅的类库，对类库的使用者隐藏掉那些枯燥乏味的细节。

本章的要点包括：

- 隐式转换用于在类型之间做转换。
- 你必须引入隐式转换，并确保它们可以以单个标识符的形式出现在当前作用域。
- 隐式参数列表会要求指定类型的对象。它们可以从当前作用域中以单个标识符定义的隐式对象获取，或者从目标类型的伴生对象获取。
- 如果隐式参数是一个单参数的函数，那么它同时也会被作为隐式转换使用。
- 类型参数的上下文界定要求存在一个指定类型的隐式对象。
- 如果有可能定位到一个隐式对象，这一点可以作为证据证明某个类型转换是合法的。

21.1 隐式转换

所谓*隐式转换函数*（implicit conversion function）指的是那种以implicit关键字声明的带有单个参数的函数。正如它的名称所表达的，这样的函数将被自动应用，将值从一种类型转换为另一种类型。

以下是一个简单的示例。我们想把整数*n*转换成分数*n* / 1。

```
implicit def int2Fraction (n: Int) = Fraction(n, 1)
```

这样我们就可以做如下表达式求值：

```
val result = 3 * Fraction(4, 5) // 将调用int2Fraction(3)
```

隐式转换函数将整数3转换成了一个Fraction对象。这个对象接着又被乘以Fraction(4, 5)。

你可以给转换函数起任何名称。由于你并不显式地调用它，因此，你可能会想用比较短的名称，比如i2f。不过，你将在21.3节中看到，有时候我们也需要显式地引入转换函数。我建议你坚持用 *source2Target* 这种约定俗成的命名方式。

Scala并不是第一个允许程序员提供自动类型转换的语言。不过，Scala给了程序员相当大的控制权在什么时候应用这些转换。在接下来的若干节，我们将讨论隐式转换究竟在什么时候发生，以及如何微调这个过程。

说明：在C++中，你可以以单参数构造器或者名为operator *Type*()的成员函数来指定隐式转换。不过，在C++中，你无法有选择地允许或禁止这些函数，因而得到不想要的转换是常有的事。

21.2 利用隐式转换丰富现有类库的功能

你是否曾希望某个类有某个方法，而这个类的作者却没有提供？举例来说，如果java.io.File类能有个read方法来读取文件，这该多好：

```
val contents = new File("README").read
```

作为Java程序员，你唯一的出路是向Oracle Corporation请愿，要求增加这样一个方

法。祝你好运！

在Scala中，你可以定义一个经过丰富的类型，提供你想要的功能：

```
class RichFile(val from: File) {
  def read = Source.fromFile(from.getPath).mkString
}
```

306

然后，再提供一个隐式转换来将原来的类型转换到这个新的类型：

```
implicit def file2RichFile(from: File) = new RichFile(from)
```

这样一来，你就可以在File对象上调用read方法了。它被隐式地转换成了一个RichFile。

21.3 引入隐式转换

Scala会考虑如下的隐式转换函数：

1. 位于源或目标类型的伴生对象中的隐式函数。
2. 位于当前作用域可以以单个标识符指代的隐式函数。

比如我们的int2Fraction函数。我们可以将它放到Fraction伴生对象中，这样它就能够被用来将整数转换成分数了。

或者，假定我们把它放到了FractionConversions对象当中，而这个对象位于com.horstmann.impatient包。如果你想要使用这个转换，就需要引入FractionConversions对象，像这样：

```
import com.horstmann.impatient.FractionConversions._
```

单凭如下这样的引入语句是不够的：

```
import com.horstmann.impatient.FractionConversions
```

上面这个语句引入的是FractionConversions对象本身，而int2Fraction方法只能以FractionConversions.int2Fraction的形式被任何想要显式调用它的人使用。但如果该函数不能直接以int2Fraction访问到，不加限定词的话，编译器是不会使用它的。

提示：在REPL中，键入:implicits以查看所有除Predef外被引入的隐式成员，或者键入:implicits -v以查看全部。

你可以将引入局部化以尽量避免不想要的转换发生。例如：

```
object Main extends App {
  import com.horstmann.impatient.FractionConversions._
  val result = 3 * Fraction(4, 5) // 使用引入的转换
  println(result)
}
```

你甚至可以选择你想要的特定转换。假定你有另一个转换：

```
object FractionConversions {
  ...
  implicit def fraction2Double(f: Fraction) = f.num * 1.0 / f.den
}
```

307

如果你想要的是这一个转换而不是int2Fraction，则可以直接引入它：

```
import com.horstmann.impatient.FractionConversions.fraction2Double
val result = 3 * Fraction(4, 5) // 结果是2.4
```

如果某个特定的隐式转换给你带来麻烦，也可以将它排除在外：

```
import com.horstmann.impatient.FractionConversions.{fraction2Double => _, _}
  // 引入除fraction2Double外的所有成员
```


提示：如果你想要搞清楚为什么编译器没有使用某个你认为它应该使用的隐式转换，可以试着将它显式加上，例如调用fraction2Double(3) * Fraction(4, 5)。你可能就会得到显示问题所在的错误提示了。

21.4 隐式转换规则

隐式转换在如下三种各不相同的情况会被考虑：

- 当表达式的类型与预期的类型不同时：

```
sqrt(Fraction(1, 4))
  // 将调用fraction2Double，因为sqrt预期的是一个Double
```

- 当对象访问一个不存在的成员时：

```
new File("README").read
  // 将调用file2RichFile，因为File没有read方法
```

- 当对象调用某个方法，而该方法的参数声明与传入参数不匹配时：

```
3 * Fraction(4, 5)
  // 将调用int2Fraction，因为Int的*方法不接受Fraction作为参数
```

另一方面，有三种情况编译器不会尝试使用隐式转换：

- 如果代码能够在不使用隐式转换的前提下通过编译，则不会使用隐式转换。举例来说，如果 a * b 能够编译，那么编译器不会尝试 a * convert(b) 或者 convert(a) * b。
- 编译器不会尝试同时执行多个转换，比如convert1(convert2(a)) * b。
- 存在二义性的转换是个错误。举例来说，如果 convert1(a) * b 和 convert2(a) * b 都是合法的，编译器将会报错。

308

注意：上述二义性规则只适用于被尝试转换的对象。考虑如下案例

```
Fraction(3, 4) * 5
```

虽然如下两个表达式

```
Fraction(3, 4) * int2Fraction(5)
```

和

```
fraction2Double(Fraction(3, 4)) * 5
```

都是合法的，这里并不存在二义性。第一个转换将会胜出，因为它不需要改变被应用*方法的那个对象。

提示：如果你想要弄清楚编译器使用了哪些隐式转换，可以用如下命令行参数来编译你的程序：

```
scalac -Xprint:typer MyProg.scala
```

你将会看到加入隐式转换后的源码。

21.5 隐式参数

函数或方法可以带有一个标记为implicit的参数列表。这种情况下，编译器将会查找缺省值，提供给该函数或方法。以下是一个简单的示例：

```
case class Delimiters(left: String, right: String)

def quote(what: String)(implicit delims: Delimiters) =
  delims.left + what + delims.right
```

你可以用一个显式的Delimiters对象来调用quote方法，就像这样：

```
quote("Bonjour le monde")(Delimiters("«", "»")) // 将返回 «Bonjour le monde»
```

注意这里有两个参数列表。这个函数是“柯里化的”——参见第12章。

你也可以略去隐式参数列表：

```
quote("Bonjour le monde")
```

在这种情况下，编译器将会查找一个类型为Delimiters的隐式值。这必须是一个被
309 声明为implicit的值。编译器将会在如下两个地方查找这样的一个对象：

- 在当前作用域所有可以用单个标识符指代的满足类型要求的val和def。
- 与所要求类型相关联的类型的伴生对象。相关联的类型包括所要求类型本身，以及它的类型参数（如果它是一个参数化的类型的话）。

在我们的示例当中，我们可以做一个对象，比如：

```
object FrenchPunctuation {
  implicit val quoteDelimiters = Delimiters("«", "»")
  ...
}
```

这样我们就可以从这个对象引入所有的值：

```
import FrenchPunctuation._
```

或特定的值：

```
import FrenchPunctuation.quoteDelimiters
```

如此一来，法语标点符号中的定界符（«和»）就被隐式地提供给了quote函数。

说明：对于给定的数据类型，只能有一个隐式的值。因此，使用常用类型的隐式参数并不是一个好主意。例如：

```
def quote(what: String)(implicit left: String, right: String) // 别这样做!
```

上述代码行不通，因为调用者没法提供两个不同的字符串。

21.6 利用隐式参数进行隐式转换

隐式的函数参数也可以被用做隐式转换。为了明白它为什么重要，首先考虑如下这个泛型函数：

```
def smaller[T](a: T, b: T) = if (a < b) a else b // 不太对劲
```

这实际上行不通。编译器不会接受这个函数，因为它并不知道a和b属于一个带有<操作符的类型。

我们可以提供一个转换函数来达到目的：

```
def smaller[T](a: T, b: T)(implicit order: T => Ordered[T])
  = if (order(a) < b) a else b
```

由于Ordered[T]特质有一个接受T作为参数的<操作符，因此这个版本是正确的。

也许是巧合，这种情况十分常见，Predef对象对大量已知类型都定义了T => Ordered[T]，包括所有已经实现了Order[T]或Comparable[T]的类型。正因为如此，你才可以调用

```
smaller(40, 2)
```

310

和

```
smaller("Hello", "World")
```

如果你想要调用

```
smaller(Fraction(1, 7), Fraction(2, 9))
```

那你就需要定义一个Fraction => Ordered[Fraction]的函数，要么在调用的时候显式写出，要么把它做成一个implicit val。我把这个留作练习，因为它离我在本节要表达的论

点太远了。

最后，以下就是我想要说的。再次检查

```
def smaller[T](a: T, b: T)(implicit order: T => Ordered[T])
```

注意order是一个带有单个参数的函数，被打上了implicit标签，并且有一个以单个标识符出现的名称。因此，它不仅是一个隐式参数，它还是一个隐式转换。正因为这样，我们可以在函数体中略去对order的显式调用：

```
def smaller[T](a: T, b: T)(implicit order: T => Ordered[T])
  = if (a < b) a else b // 将调用order(a) < b，如果a没有带<操作符的话
```

21.7 上下文界定

类型参数可以有一个形式为T : M的上下文界定，其中M是另一个泛型类型。它要求作用域中存在一个类型为M[T]的隐式值。

例如：

```
class Pair[T : Ordering]
```

要求存在一个类型为Ordering[T]的隐式值。该隐式值可以被用在该类的方法当中，考虑如下示例：

```
class Pair[T : Ordering](val first: T, val second: T) {
  def smaller(implicit ord: Ordering[T]) =
    if (ord.compare(first, second) < 0) first else second
}
```

如果我们new一个Pair(40, 2)，编译器将推断出我们需要一个Pair[Int]。由于Predef作用域中有一个类型为Ordering[Int]的隐式值，因此Int满足上下文界定。这个Ordering[Int]就成为该类的一个字段，被传入需要该值的方法当中。

311 如果你愿意，你也可以用Predef类的implicitly方法获取该值：

```
class Pair[T : Ordering](val first: T, val second: T) {
  def smaller =
    if (implicitly[Ordering[T]].compare(first, second) < 0) first else second
}
```

implicitly函数在Predef.scala中定义如下：

```
def implicitly[T](implicit e: T) = e
  // 用于从冥界召唤隐式值
```

说明：上述注释的表述很贴切——隐式值生活在“冥界”，并以一种不可见的方式被加入到方法当中。

或者，你也可以利用Ordered特质中定义的从Ordering到Ordered的隐式转换。一旦引入了这个转换，你就可以使用关系操作符：

```
class Pair[T : Ordering](val first: T, val second: T) {
  def smaller = {
    import Ordered._;
    if (first < second) first else second
  }
}
```

这些只是细微的变化；重要的是你可以随时实例化Pair[T]，只要满足存在类型为Ordering[T]的隐式值的条件即可。举例来说，如果你想要一个Pair[Point]，则可以组织一个隐式的Ordering[Point]值：

```
implicit object PointOrdering extends Ordering[Point] {
  def compare(a: Point, b: Point) = ...
}
```

21.8 类型证明

在第17章，你看到过下面这样的类型约束：

```
T =:= U
T <:< U
T <%< U
```

这些约束将校验T是否等于U，是否是U的子类型，或者是否可以被视图（隐式）转换为U。要使用这样的类型约束，做法是提供一个隐式参数，比如：

```
def firstLast[A, C](it: C)(implicit ev: C <:< Iterable[A]) =
  (it.head, it.last)
```

312

=:=、<:<和<%<是带有隐式值的类，定义在Predef对象当中。例如，<:<从本质上讲就是：

```
abstract class <:<[-From, +To] extends Function1[From, To]

object <:< {
  implicit def conforms[A] = new (A <:< A) { def apply(x: A) = x }
}
```

假定编辑器需要处理约束implicit ev: String <:< AnyRef。它会在伴生对象中查找类型为String <:< AnyRef的隐式对象。注意<:<相对于From是逆变的，而相对于To是协变的。因此如下对象：

```
<:<.conforms[String]
```

可以被当做String <:< AnyRef的实例使用。（<:<.conforms[AnyRef]也是可以用的，但它相对而言更笼统，因而不会被考虑。）

我们把ev称做“类型证明对象”——它的存在证明了如下事实：以本例来说，String是AnyRef的子类型。

这里的类型证明对象是恒等函数（即永远返回参数原值的函数）。要弄明白为什么这个恒等函数是必需的，请仔细看如下代码：

```
def firstLast[A, C](it: C)(implicit ev: C <:< Iterable[A]) =
  (it.head, it.last)
```

编译器实际上并不知道C是一个Iterable[A]——你应该还记得<:<并不是语言特性，而只是一个类。因此，像it.head和it.last这样的调用并不合法。但ev是一个带有单个参数的函数，因此也是一个从C到Iterable[A]的隐式转换。编译器将会应用这个隐式转换，计算ev(it).head和ev(it).last。

提示：为了检查一个泛型的隐式对象是否存在，你可以在REPL中调用implicitly函数。举例来说，在REPL中键入implicitly[String <:< AnyRef]，你将会得到一个结果（碰巧是一个函数）。但implicitly[AnyRef <:< String]会失败，并给出错误提示。

21.9 @implicitNotFound注解

@implicitNotFound注解告诉编译器在不能构造出带有该注解的类型的参数时给出错误提示。这样做的目的是给程序员有意义的错误提示。举例来说，<:<类被注解为：

```
@implicitNotFound(msg = "Cannot prove that ${From} <:< ${To}.")
abstract class <:<[-From, +To] extends Function1[From, To]
```

313

例如，如果你调用

```
firstLast[String, List[Int]](List(1, 2, 3))
```

则错误提示为

```
Cannot prove that List[Int] <:< Iterable[String]
```

这比起如下缺省的错误提示更有可能给程序员提供有价值的信息：

```
Could not find implicit value for parameter ev: <::<[List[Int], Iterable[String]]
```

注意错误提示中的${From}和${To}将被替换成被注解类的类型参数From和To。

21.10 CanBuildFrom解读

在第1章中，我曾经说过你应该直接忽略那个隐式的CanBuildFrom参数。现在你终于准备好，可以理解它的工作原理了。

考虑map方法。稍微简化一些来说，map是一个Iterable[A, Repr]的方法，实现如下：

```
def map[B, That](f: (A) => B)(implicit bf: CanBuildFrom[Repr, B, That]): That = {
  val builder = bf()
  val iter = iterator()
  while (iter.hasNext) builder += f(iter.next())
  builder.result
}
```

这里Repr的意思是“展现类型”。该参数将让我们可以选择合适的构建器工厂来构建诸如Range或String这样的非常规集合。

说明：在Scala类库中，map实际上被定义在TraversableLike[A, Repr]特质中。这样，更常用的Iterable特质就不需要背着Repr这个类型参数的包袱。

CanBuildFrom[From, E, To]特质将提供类型证明，可以创建一个类型为To的集合，握有类型为E的值，并且和类型From兼容。在讨论这些类型证明对象是如何生成的之前，让我们先来看看它们是做什么用的。

CanBuildFrom特质带有一个apply方法，产出类型为Builder[E, To]的对象。Builder类型带有一个+=方法用来将元素添加到一个内部的缓冲，还有一个result方法用来产出所要求的集合。

```
trait Builder[-E, +To] {
  def +=(e: E): Unit
  def result(): To
}

trait CanBuildFrom[-From, -E, +To] {
  def apply(): Builder[E, To]
}
```

314

因此，map方法只是构造出一个目标类型的构建器，为构建器填充函数f的值，然后产出结果的集合。

每个集合都在其伴生对象中提供了一个隐式的CanBuildFrom对象。考虑如下简化版的ArrayBuffer类：

```
class Buffer[E : Manifest] extends Iterable[E, Buffer[E]]
    with Builder[E, Buffer[E]] {
  private var elems = new Array[E](10)
  ...
  def iterator() = ...
    private var i = 0
    def hasNext = i < length
    def next() = { i += 1; elems(i - 1) }
  }
```

```
    def +=(e: E) { ... }
    def result() = this
  }

  object Buffer {
    implicit def canBuildFrom[E : Manifest] = new CanBuildFrom[Buffer[_],
E, Buffer[E]] {
      def apply() = new Buffer[E]
    }
  }
```

我们来看看如果调用buffer.map(f)会发生什么，其中f是一个类型为A => B的函数。首先，通过调用Buffer伴生对象中的canBuildFrom[B]方法，我们可以得到隐式的bf参数。它的apply方法返回了构建器，拿本例来说就是Buffer[E]。

由于Buffer类碰巧已经有一个+=方法，而它的result方法也被定义为返回它自己。因此，Buffer就是它自己的构建器。

然而，Range类的构建器并不返回一个Range，而且它显然也不能返回Range。举例来说，(1 to 10).map(x => x * x)的结果并不是一个Range。在实际的Scala类库中，Range扩展自IndexedSeq[Int]，而IndexedSeq的伴生对象定义了一个构建Vector的构建器。

以下是一个简化版的Range类，提供了一个Buffer作为其构建器：

```
class Range(val low: Int, val high: Int) extends Iterable[Int, Range] {
  def iterator() = ...
}

object Range {
  implicit def canBuildFrom[E : Manifest] = new CanBuildFrom[Range, E,
Buffer[E]] {
    def apply() = new Buffer[E]
  }
}
```

315

现在再来考虑如下调用：Rang(1, 10).map(f)。这个方法需要一个implicit bf:

CanBuildFrom[Repr, B, That]。由于Repr就是Range，因此相关联的类型有CanBuildFrom、Range、B和未知的That。其中Range对象可以通过调用其canBuildFrom[B]方法产出一个匹配项，该方法返回一个CanBuildFrom[Range, B, Buffer[B]]。这个匹配项就成为bf；其apply方法将产出Buffer[B]，用于构建结果。

正如你刚才看到的，隐式参数CanBuildFrom[Repr, B, That]将会定位到一个可以产出目标集合的构建器的工厂对象。这个构建器工厂是定义在Repr伴生对象中的一个隐式值。

练习

1. ->的工作原理是什么？或者说，"Hello" -> 42和42 -> "Hello"怎么会和对偶("Hello", 42)和(42, "Hello")扯上关系呢？提示：Predef.any2ArrowAssoc。
2. 定义一个操作符+%，将一个给定的百分比添加到某个值。举例来说，120 +% 10应得到132。提示：由于操作符是方法，而不是函数，你需要提供一个implicit。
3. 定义一个!操作符，计算某个整数的阶乘。举例来说，5!应得到120。你将会需要一个经过丰富的类和一个隐式转换。
4. 有些人很喜欢那些读起来隐约像英语句子的“流利API”。创建一个这样的API，用来从控制台读取整数、浮点数以及字符串。例如：Read in aString askingFor "Your name" and anInt askingFor "Your age" and aDouble askingFor "Your weight"。
5. 提供执行21.6节中的下述运算所需要的代码：

```
smaller(Fraction(1, 7), Fraction(2, 9))
```

   给出一个扩展自Ordered[Fraction]的RichFraction类。
6. 比较java.awt.Point类的对象，按词典顺序比较（即依次比较*x*坐标和*y*坐标的值）。
7. 继续前一个练习，根据两个点到原点的距离进行比较。你如何在两种排序之间切换？

316

8. 在REPL中使用implicitly命令来召唤出21.5节及21.6节中的隐式对象。你得到了哪些对象？

9. 在Predef.scala中查找=:=对象。解释它的工作原理。
10. 表达式"abc".map(_.toUpper)的结果是一个String，但"abc".map(_.toInt)的结果是一个Vector。搞清楚为什么会这样。 317

第22章　定界延续

本章的主题 L3

- 22.1　捕获并执行延续——第340页
- 22.2　“运算当中挖个洞”——第341页
- 22.3　reset和shift的控制流转——第342页
- 22.4　reset表达式的值——第343页
- 22.5　reset和shift表达式的类型——第344页
- 22.6　CPS注解——第345页
- 22.7　将递归访问转化为迭代——第347页
- 22.8　撤销控制反转——第349页
- 22.9　CPS变换——第353页
- 22.10 转换嵌套的控制上下文——第356页
- 练习——第358页

Chapter 22

延续是一个强大的结构，允许你实现与人们熟知的分支、循环、函数调用和异常不同的控制流转机制。例如，你可以跳回到之前的运算，或者重组程序中不同部分的执行顺序。这些能力可能会让人觉得不可思议；它们的本意并不是给应用程序开发人员使用的，但类库的实现者们可以对延续的威力加以利用，并以透明的方式将相关功能提供给类库的用户。

本章的要点包括：

- 延续让你可以回到程序执行当中之前的某个点。
- 你可以在shift块中捕获延续。
- 延续函数一直延展到包含它的reset块的尾部。
- 延续是所谓的“余下的运算”，从包含shift的表达式开始，到包含它的reset块的尾部结束，其中shift被替换成一个“洞”。
- 当你传入一个参数来调用延续时，这个“洞”将被传入的参数值填上。
- 包含shift表达式的代码将被以“延续传递风格”（CPS）重写，直到包含该延续的reset为止。
- 包含shift但没有reset的方法必须加上CPS注解。
- 延续可以用来将对某个树形结构的递归访问变成迭代。
- 延续可以在Web或GUI应用中撤销“控制反转”。

22.1 捕获并执行延续

延续是这样一种机制，它让你回到程序中之前的一个点。这样的特性有什么用呢？考虑读取文件的例子：

```
contents = scala.io.Source.fromFile(filename, "UTF-8").mkString
```

如果文件不存在，那么就会有异常抛出。你可以捕获这个异常并问用户要一个新的文件名。不过这样一来，要如何重新读取文件呢？要是能直接跳回到失败的点然后重试该多好？延续允许你这样做。

首先，你需要捕获一个延续，做法是使用shift结构。在shift当中，你必须讲明当一个延续被交给你之后，你想要做些什么事。通常，你会想要把它保存下来，之后再用它，就像这样：

```
var cont: (Unit => Unit) = null
...
shift { k: (Unit => Unit) => // 延续被传递给了shift
  cont = k // 保存下来，以便之后能使用
}
```

这里的延续是一个不带参数也不带返回值的函数（严格地说，有一个类型为Unit的参数和一个类型为Unit的返回值）。我们在后面会看到带参数和返回值的延续。

要跳回到shift那一点，你需要执行这个延续，做法就是简单地调用cont。

在Scala中，延续是定界的——它只能延展到给定的边界。这个边界由reset { ... }标出：

```
reset {
  ...
  shift { k: (Unit => Unit) =>
    cont = k
  } // 对cont的调用将从此处开始……
  ...
} // ……到此处结束
```

当你调用cont时，执行将从shift处开始，并一直延展到reset块的边界。

以下是一个完整的示例。我们将读取一个文件并捕获延续。

```
var cont: (Unit => Unit) = null
var filename = "myfile.txt"
var contents = ""

reset {
  while (contents == "") {
    try {
      contents = scala.io.Source.fromFile(filename, "UTF-8").mkString
    } catch { case _ => }
    shift { k: (Unit => Unit) =>
      cont = k
    }
  }
}
```

要重试的话，只需要执行延续即可：

```
if (contents == "") {
  print("Try another filename: ")
  filename = readLine()
  cont() // 跳回到shift
}
println(contents)
```

说明：在Scala 2.9中，你需要启用延续插件才能编译使用了延续的程序：

```
scalac -P:continuations:enable MyProg.scala
```

22.2 “运算当中挖个洞”

要理解到底一个延续捕获了什么，我们可以把shift块想象成一个位于reset块中的“洞”。当你执行延续时，你可以将一个值传到这个洞中，运算继续，就好像shift本就是那个值一样。考虑如下这个人为的示例：

```
var cont: (Int => Double) => null
```

```
reset {
  0.5 * shift { k: (Int => Double) => cont = k } + 1
}
```

将shift替换成一个“洞”，你得到的是：

```
reset {
  0.5 * □ + 1
}
```

321

当你调用cont(3)时，这个洞被填上值3，reset块中的代码产出2.5。

换句话说，cont不过是如下这样一个函数 x: Int => 0.5 * x + 1。

延续的类型为Int => Double，因为我们填入Int并计算出Double。

说明：在前一节，我们使用的是一个不接受任何值也不返回任何值的延续。这就是为什么它被声明为类型Unit => Unit。

22.3 reset和shift的控制流转

reset/shift的控制流转有些令人困惑，这是因为它们有着双重职责——一方面定义延续函数，另一方面又捕获延续函数。

当你调用reset时，它的代码体便开始执行。当执行遇到shift时，shift的代码体被调用，传入延续函数作为参数。当shift完成后，执行立即跳转到包含延续的reset块的末尾。看如下代码：

```
var cont: (Unit => Unit) = null
reset {
  println("Before shift")
  shift {
    k: (Unit => Unit) => {
      cont = k
      println("Inside shift") // 跳转到reset末尾
    }
  }
  println("After shift")
```

```
}
println("After reset")
cont()
```

当reset执行时，上述代码将打印

```
Before shift
Inside shift
```

然后它将退出reset块并打印

```
After reset
```

最后，当调用cont时，执行跳回到reset块，并打印出

```
After shift
```

322

注意shift之前的代码不是延续的一部分。延续将从包含shift的表达式（该表达式会变成那个“洞”）开始，一直延展到reset的末尾。拿本例来说就是：

```
□: Unit => □ ; println("After shift")
```

cont函数的参数为Unit，而这个洞只是简单地被替换成了()。

说明：你已经看到，reset中的shift会立即跳出reset。当你执行一个跳入reset的延续时，如果再次遇到shift（在循环中的话将会遇到同一个shift），它同样会立即跳出reset。函数调用也会立即退出，返回shift的值。

22.4 reset表达式的值

如果reset块退出是因为由于执行了shift，那么得到的值就是shift块的值：

```
val result = reset { shift { k: (String => String) => "Exit" }; "End" }
  // result为"Exit"
```

不过，如果reset块执行到自己的末尾的话，它的值就只是reset块的值——亦即块中最后一个表达式的值：

```
val result = reset { if (false) shift { k: (String => String) => "Exit" }; "End" }
```

```
// result为"End"
```

在实际操作当中，如果reset代码块包含分支或循环的话，两种情况都有可能发生：

```
val result = reset {
  if (scala.util.Random.nextBoolean()) {
    shift {
      k: (String => String) => "Exit"
    }
  }
  else "End"
}
```

如此一来，result将被随机赋值为"Exit"或"End"。

22.5 reset和shift表达式的类型

不论是reset还是shift，它们都是带有类型参数的方法，分别是reset[B, C]和shift[A, B, C]。下面的“速查单”展示了类型是如何被推断出来的。

323

```
reset {
  shift前
  shift { k: (A => B) => // 由此处推断A和B
    shift中 // 类型C
  } // "洞"的类型为A
  shift后 // 必须产出类型B的值
}
```

这里的A是延续的参数类型——“被填入洞中”的值的类型。B是延续的返回类型——当有人执行延续的时候返回的值的类型。C是预期的reset表达式的类型——亦即从shift返回的值的类型。

注意：如果reset块有可能返回一个类型为B或者C的值（由于分支或循环的原因），那么B必须是C的子类型。

注意这些类型是很重要的。如果编译器无法正确地推断出它们，它将报告一个很隐晦的错误提示。作为示例，我们可以看一下前一节的代码，假如我们做了一个看上去无关痛痒的改动：

```
val result = reset {
  if (util.Random.nextBoolean()) {
    shift {
      k: (Unit => Unit) => // A和B是Unit
        "Exit" // C是String
    } // 洞是Unit
  }
  else "End" // String不是Unit
}
```

问题在于reset可以返回一个String，但这并不是一个Unit。

提示：如果推断出的类型不符合你的要求，你可以给reset和shift添加类型参数。举例来说，你可以通过把延续类型改为Unit => Any，并使用reset[Any, Any]来让上述代码通过编译。

错误提示可能会非常恶劣，你很容易进入那种闭着眼睛调整类型直到它不再报错的状态。尽量别这样做，仔细考虑当延续发生时，你希望发生什么。对于这种抽象的场景，要说清楚并不容易。但当你在解决实际问题的时候，你通常会知道当你调用延续时，你想要传入什么值（如果有需要传入的值的话），以及你想得到什么样的值作为结果。这就能告诉你类型A和B分别是什么。通常，你可以把代码做适当组织使得C和B相等。这样一来，不论reset是怎样退出的，reset表达式都将产出类型为B的值。

324

22.6 CPS注解

在某些虚拟机中，延续的实现方式是抓取运行期栈的快照。当有人调用延续时，运行期栈被恢复成快照的样子。可惜Java虚拟机并不允许对栈进行这样的操作。为了在JVM中提供延续，Scala编译器将对reset块中的代码进行“延续传递风格”（CPS）的变换。我们将在22.9节中详细介绍关于该变换的内容。

经过变换的代码与常规的Scala代码很不一样，而且你不能混用这两种风格。对于方法而言，这个区别尤为明显。如果方法包含shift，那它将不会被编译成常规的方法。你必须将它注解为一个“被变换”的方法。

你应该还记得前一节我们提到shift有三个类型参数——分别是延续函数的参数和返回类型，以及代码块的类型。要调用一个包含了shift[A, B, C]的方法，它必须被注解为@cpsParam(B, C)。在通常的情况，即B和C相同时，可以用注解@cps[B]。

说明：除了用@cps[Unit]外，你还可以用@suspendable注解。在这里我不会这样做——因为它更长，并且我也不觉得它有哪点比@cps[Unit]更容易理解。

我们来看一下22.1节中的那个应用程序。如果我们把读取器循环放入到一个方法当中，那这个方法就必须被加上注解：

```
def tryRead(): Unit @cps[Unit] = {
  while (contents == "") {
    try {
      contents = scala.io.Source.fromFile(filename, "UTF-8").mkString
    } catch { case _ => }
    shift { k: (Unit => Unit) =>
      cont = k
    }
  }
}
```

325

注意：当你给方法添加注解时，你必须指定返回类型，并且必须使用=，哪怕是一个返回Unit的方法。这是注解语法的限制，和延续无关。

如果某方法调用带有@cps注解的方法，而该调用本身又不位于reset代码块的话，则该方法也必须被加上注解。换句话说，任何位于reset和shift之间的方法都必须加上注解。

这听上去挺痛苦的，的确是这样。不过记住，这些注解的本意并不是要由应用程序开发人员使用，它们是用来帮助类库设计者产出特殊的控制流转结构的。有关延续的细节应该被好好隐藏起来，不要让类库的用户察觉到它们的存在。

22.7 将递归访问转化为迭代

我们现在已经准备好开始做一个正儿八经的延续应用程序了。我们可以很容易地以递归的方式处理某个树形结构的所有节点。核心逻辑是在访问节点时处理该节点并访问所有后代。要启动整个进程，访问树的根节点即可。

例如，如下方法将打印给定目录中所有子目录的所有文件：

```
def processDirectory(dir: File) {
  val files = dir.listFiles
  for (f <- files) {
    if (f.isDirectory)
      processDirectory(f)
    else
      println(f)
  }
}
```

如果我们只是想看到所有文件的话，这样做没什么问题——但如果我们只想看到前100个文件怎么办呢？我们没法在当中停掉递归。但要是用延续的话就简单了。每发现一个节点，我们就跳出递归。如果我们需要更多结果，我们再跳回去。

reset和shift方法尤其适合这种控制流转的模式。每当shift被执行，程序就退出包含它的reset。当被捕获的延续被调用时，程序又再返回shift的位置。 326

要实现这个设计，我们可以在访问应被中断的点上放置一个shift。

```
if (f.isDirectory)
  processDirectory(f)
else {
  shift {
    k: (Unit => Unit) => {
      cont = k
    }
  }
  println(f)
}
```

这里的shift承担两个职责。每当它被执行，它就会跳到reset的末尾，同时它会捕获

到延续，这样我们才能回得来。

将整个过程的启动点用reset包起来，然后就可以以我们想要调用的次数来调用捕获到的延续了：

```
reset {
  processDirectory(new File(rootDirName))
}
for (i <- 1 to 100) cont()
```

当然了，processDirectory方法需要一个CPS注解：

```
def processDirectory(dir: File): Unit @cps[Unit]
```

只可惜我们需要替换掉核心代码中的for循环。for循环会被翻译成一个对foreach的调用，而foreach并没有被注解为CPS，因此我们无法调用它。简单地改成用while循环就好：

```
var i = 0
while (i < files.length) {
  val f = files(i)
  i += 1
  ...
}
```

327

以下是完整的程序：

```
import scala.util.continuations._
import java.io_

object PrintFiles extends App {
  var cont: (Unit => Unit) = null

  def processDirectory(dir: File): Unit @cps[Unit] = {
    val files = dir.listFiles
    var i = 0
    while (i < files.length) {
      val f = files(i)
      i += 1
```

```
      if (f.isDirectory)
        processDirectory(f)
      else {
        shift {
          k: (Unit => Unit) => {
            cont = k // ❷
          }
        } // ❺
        println(f)
      }
    }
  }

  reset {
    processDirectory(new File("/")) // ❶
  } // ❸
  for (i <- 1 to 100) cont() // ❹
}
```

在进入reset块时，processDirectory方法被调用❶。一旦该方法找到第一个不是目录的文件，它将进入shift块❷。延续函数被保存到cont，程序跳到reset块的末尾❸。

接下来，cont被调用❹，程序重新跳回递归❺，进入到“shift洞”中。递归继续，直到下一个文件被找到，再次进入shift。在shift的末尾，程序将跳到reset的末尾，然后cont函数返回。

328

说明：我尽可能保持这个程序简短，但这并不是应用程序开发人员使用延续的方式。reset和shift应该被包含在类库调用当中，对类库使用者不可见。拿本例来说，reset可以被放到迭代器的构造器中，这样一来，对cont的调用就可以放在迭代器的next方法当中了。

22.8 撤销控制反转

一个很有前景的延续应用是撤销GUI或Web编程中的“控制反转”。考虑这样一个典型的Web应用，在某个网页上向用户请求某些信息，然后在下一页询问更多信息。

你可能会希望像这样来编写这个程序：

```
val response1 = getResponse(page1)
val response2 = getResponse(page2)
process(response1, response2)
```

但是在Web应用中事情并不是这样的。应用程序的流转并不受你控制。正相反，在你发送完第一个页面给用户之后，你的程序就处于等待状态。最后当用户的响应抵达时，它必须被路由到发送第二个页面的那部分程序逻辑。当用户对第二个页面做出响应后，相关处理又会在另一个不同的地方发生。

基于延续的Web框架能够解决这个问题。当应用做出一个网页并等待用户响应时，一个延续会被保留下来。当用户响应抵达后，这个延续会被调用。这对于应用程序开发人员是透明的。

简单起见，我将用一个GUI应用程序来展示这个概念。这个应用程序有一个用于显
329 示提示的标签，和一个文本区域用于提供输入（图22-1）。

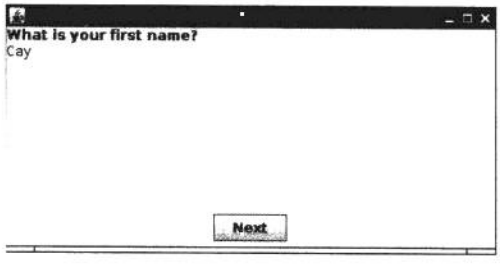


图22-1 展示如何撤销控制反转

当Next按钮被点击时，用户输入被返回到getResponse方法。以下是应用程序开发人员需要编写的代码：

```
def run() {
  reset {
    val response1 = getResponse("What is your first name?") // ❶
    val response2 = getResponse("What is your last name?")
    process(response1, response2) // ❺
  } // ❸
}
```

```
def process(s1: String, s2: String) {
  label.setText("Hello, " + s1 + " " + s2)
}
```

process方法不需要CPS注解，因为它并不包含shift。

getResponse方法按照通常的方式捕获延续。由于它包含shift，因此被加上了@cps注解：

```
def getResponse(prompt: String): String @cps[Unit] = {
  label.setText(prompt)
  setListener(button) { cont() }
  shift { k: (Unit => Unit) =>
    cont = k // ❷
  } // ❹
  setListener(button) { }
  textField.getText
}
```

getResponse方法将延续设为Next按钮的监听器，这里用到了一个方便编写的方法，代码在本节最后完整程序清单中给出。

注意run方法中的应用程序代码被包在了一个reset块中。当这个run方法第一次调用getResponse时❶，它将进入shift❷，捕获到延续，然后返回到reset的末尾❸，退出run方法。

接下来用户键入要输入的内容并点击按钮。按钮的事件处理器执行延续，程序执行在❹处继续。用户输入被返回给run方法。

330

然后run方法第二次调用getResponse。再一次，run方法在延续被捕获时退出。当用户提供了输入并点击按钮时，结果被递送到run方法并传递给process❺。

有趣的是，整个活动都在事件分发线程中完成，而且没有阻塞。为了展示这个效果，我们直接在按钮的监听器中启动run方法。

以下是完整的程序代码：

```
import java.awt._
import java.awt.event._
import javax.swing._
```

```
import scala.util.continuations._

object Main extends App {
  val frame = new JFrame
  val button = new JButton("Next")
  setListener(button) { run() }
  val textField = new JTextArea(10, 40)
  val label = new JLabel("Welcome to the demo app")
  frame.add(label, BorderLayout.NORTH)
  frame.add(textField)
  val panel = new JPanel
  panel.add(button)
  frame.add(panel, BorderLayout.SOUTH)
  frame.pack()
  frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE)
  frame.setVisible(true)

  def run() {
    reset {
      val response1 = getResponse("What is your first name?")
      val response2 = getResponse("What is your last name?")
      process(response1, response2)
    }
  }

  def process(s1: String, s2: String) {
    label.setText("Hello, " + s1 + " " + s2)
  }

  var cont: Unit => Unit = null

  def getResponse(prompt: String): String @cps[Unit] = {
    label.setText(prompt)
    setListener(button) { cont() }
    shift {
      k: (Unit => Unit) => {
```

331

```
        cont = k
      }
    }
    setListener(button) { }
    textField.getText
  }

  def setListener(button: JButton)(action: => Unit) {
    for (l <- button.getActionListeners) button.removeActionListener(l)
    button.addActionListener(new ActionListener {
      override def actionPerformed(event: ActionEvent) { action }
    })
  }
}
```

22.9 CPS变换

在22.6节中，我们已经提过，Scala不能依赖虚拟机来提供对延续的支持。因此，编译器将位于reset块中的代码翻译成一种特殊的形式，称做“延续传递风格”，或CPS。你并不需要理解这个变换也能够使用延续，但对CPS的基本认识可以帮助你解读错误提示。

CPS变换会产出一些对象，这些对象会指定如何处理包含“余下的运算”的函数。如下的shift方法

```
shift { 函数 }
```

返回一个对象

```
ControlContext[A, B, C](函数)
```

你应该还记得，shift的代码体是一个类型为(A => B) => C的函数。它接受类型为A => B的延续作为参数，产出一个类型为C的值，该值被传递到包含延续的reset块之外。

说明：在上面的解释当中，我有意简化了ControlContext类。实际的类同时还处理异常并针对常量值做了优化。

一个控制上下文（ControlContext）描述了如何处理延续函数。通常，它会将函数推到一边，有时候它也会计算出某个值。

控制上下文并不知道如何计算延续函数。它有赖于别人来计算它。它只是预期接收延续而已。

延续当然必须被计算。我们这样说吧，余下的运算由一个f（这个我们是知道的）和另一些我们不知道的内容构成。我们可以简化问题，直接用上f。这样一来，我们只需要假定说有人会将f运算完成之后余下还要做的部分交给我们。假定这个余下的部分是k1。这样我们就可以通过首先应用f然后应用k1，最终得到整个运算的结果。

我们把这些想法翻译成控制上下文。shift被翻译成一个知道如何处理shift之后所有事情的控制上下文。现在f到了shift之后。我们可以缓慢前行，做出一个新的控制上下文来处理f之后余下的运算，就像这样：

```
new ControlContext(k1 => fun(a => k1(f(a))))
```

这里的a => k1(fa))首先运行f，然后再完成由k1指定的运算。而fun则按照通常的方式处理运算结果。

这种“缓慢前行”是控制上下文的基本操作，它被称做map。以下是map方法的定义：

```
class ControlContext[+A, -B, +C](val fun: (A => B) => C) {
  def map[A1](f: A => A1) = new ControlContext[A1, B, C](
    (k1: (A1 => B)) => fun(x: A => k1(f(x))))
  ...
}
```

说明：map方法的名称（以及22.10节你将看到的flatMap方法）显得不是很容易理解——因为它跟对集合中所有值应用某个函数的映射动作并没有明显的关联关系。不过，实际上这些map和flatMap方法与我们熟知的map和flatMap方法遵从同一组名为*单子法则*（monad laws）的规则。你无须理解任何关于单子的知识，也能学习本节的内容。我提到它只是为了解释这些名称的由来。

一旦你加上所有的类型参数，map的定义看上去就变得很技术，但背后的理念是很简单的。实际使用起来很直观：cc.map(f)接受一个控制上下文，将它变成一个能处理f

之后余下的运算的控制上下文。

像这样不停地缓慢前行，我们最终会到达一种状态，没有还要继续做的事了。这发生在我们抵达reset的边界的时候。至此，我们就可以简单地将一个什么也不做的方法传递给fun，然后得到shift的结果。 333

reset正是如此定义的：

```
def reset[B, C](cc: ControlContext[B, B, C]) = cc.fun(x => x)
```

让我们先来看一个简单的示例：

```
reset {
  0.5 * { shift { k: (Int => Double) => cont = k } } + 1
}
```

拿本例来说，编译器可以用一步就计算出整个延续。即：

```
=> 0.5 * □ + 1
```

因此，我们得到

```
reset {
  new ControlContext[Int, Double, Unit](k => cont = k).map(□ => 0.5 * □ + 1)
}
```

亦即

```
reset {
  new ControlContext[Double, Double, Unit](k1 =>
    cont = k1(x:Int => 0.5 * x + 1)
}
```

这样，reset就可以被求值了，k1是一个恒等函数，结果为：

```
cont = x: Int => 0.5 * x + 1
```

这也是22.2节中描述的行为。调用reset只是设置cont，并没有其他效果。在下一节，我们将看到一个更复杂的示例。

提示：如果你用-Xprint:selectivecps编译器标志编译，就可以看到CPS变换生成的代码。

22.10 转换嵌套的控制上下文

当CPS需要处理对这些经过变换的函数的调用时，变换过程就更加复杂。要体会到这一点，我们可以像22.7节中那样，看看如何将一个递归的访问转化为迭代。简单起见，我们将访问一个链表，而不是一棵树：

334

```
def visit(a: List[String]): String @cps[String] = {
  if (a.isEmpty) "" else {
    shift {
      k: (Unit => String) => {
        cont = k
        a.head
      }
    }
    visit(a.tail)
  }
}
```

和之前一样，shift被转换成控制上下文：

```
new ControlContext[Unit, String, String](k => { cont = k; a.head })
```

不过这一次在shift之后还跟着一个对visit的调用，该调用返回另一个ControlContext。

说明： visit方法被声明为返回一个String，但经过变换后，它实际上返回一个ControlContext。是@cps注解告诉编译器要做这个变换的。

更确切地说，shift被替换成了()，因为延续函数的参数类型为Unit。这样一来，余下的运算就是：

```
() => visit(a.tail)
```

沿着第一个示例的思路，我们会把这个函数作为参数调用map。但由于它返回的是一个控制上下文，因此我们用flatMap：

```
if (a.isEmpty) new ControlContext(k => k("")) else
  new ControlContext(k => { cont = k; a.head }).flatMap(() => visit(a.tail))
```

以下是flatMap的定义：

```
class ControlContext[+A, -B, +C](val fun: (A => B) => C) {
  ...
  def flatMap[A1, B1, C1 <:B](f: A => Shift[A1, B1, C1]) =
    new ControlContext[A1, B1, C](
      (k1: (A1 => B1)) => fun(x: A => f(x).fun(k1)))
}
```

直观地说，这段代码的意思是：如果余下的运算是以另一个想要处理余下运算的余下部分的控制上下文开始的话，让它做。这将定义出一个延续，由我们来处理。 335

说明：仔细看类型界定C1 <: B。这样写的原因是f(x).fun(k1)的类型为C1，但fun期待的是一个A => B的函数。

我们来模拟一次调用吧：

```
val lst = List("Fred")
reset { visit(lst) }
```

由于lst不是空的，我们得到：

```
reset {
  new ControlContext(k => { cont = k; lst.head }).flatMap(() => visit(lst.tail))
}
```

根据flatMap的定义，我们得到：

```
reset {
  new ControlContext(k1 => { cont = () => visit(lst.tail).fun(k1); lst.head })
}
```

然后reset将k1设为恒等函数，我们将得到：

```
cont = () => visit(lst.tail).fun(x => x)
lst.head
```

现在我们调用cont。如果我们用了更长的列表，lst.tail不会是空的，于是我们再次得到同样的结果，不过这一次是visit(lst.tail.tail)。但由于我们已经把列表遍历完了，

visit(lst.tail)将返回

```
new ControlContext(k => k(""))
```

应用恒等函数，得到结果""。

说明：在这里返回空字符串显得有些造作，但要返回Unit是不可能的，因为cont预期会返回一个类型为String的值。

正如之前已经说过的，你不需要知道CPS变换的细节，也能用延续来编程。但知道一些基本概念还是很有帮助的，尤其是在调试类型错误的时候。

练习

1. 在22.1节的示例当中，假定并不存在文件myfile.txt。现在把filename设为另一个不存在的文件并调用cont。会发生什么？将filename设为一个存在的文件并再次调用cont。会发生什么？再多调用一次cont。会发生什么？首先，在脑海里过一遍控制流转，然后运行程序来验证你的想法。

336

2. 改进22.1节的示例，让延续函数将下一个需要尝试的文件的名称作为参数传递。
3. 将22.7节中的示例改成迭代器。迭代器的构造器应包含reset，而next方法应执行延续。
4. 22.8节的示例代码看上去并不美观——应用程序开发人员能看到reset语句。将reset从run方法移到按钮监听器中。现在应用程序开发人员是不是很惬意地不知道延续的存在了呢？
5. 考虑如下示例程序，它使用延续将迭代转化成迭代器：

```
object Main extends App {
  var cont: Unit => String = null
  val a = "Mary has a little lamb".split(" ")
  reset {
    var i = 0
    while (i < a.length) {
      shift {
        k: (Unit => String) => {
```

```
            cont = k
            a(i)
          }
        }
        i += 1
      }
      ""
    }
    println(cont())
    println(cont())
  }
```

用-Xprint:selectivecps标志编译并查看生成的代码。经过CPS变换的while语句是什么样子的？

337

词 汇 表

A

abstract – 抽象的
access – 访问/获取
accessors – 取值器
actors –（不翻译）
add – 添加
advanced types – 高级类型
algorithms – 算法
aliases – 别名
ambiguity – 二义性
angle brackets – 尖括号
annotated – 带注解的
annotations – 注解
anonymous – 匿名的
apply – 应用
arguments – 参数/传入参数
arithmetic – 算术的
arrays – 数组
array buffers – 数组缓冲
assertions – 断言
assignment – 赋值
associativity – 结合性
asynchronous – 异步的
atom – 原子
attributes – 属性
automatic – 自动的
auxiliary – 辅助的
auxiliary constructors – 辅助构造器

B

backslashes – 反斜杠
backtracking – 回溯
balanced tree – 平衡树
base class – 基类
binary – 二元的（操作符）/二进制的（文件）
binding – 绑定
blocking – 阻塞的
blocks –（代码）块
boundaries – 边界
bounds – 界定
braces – 花括号
branches – 分支
buffers – 缓冲

C

calculations – 运算
call – 调用
call-by-name 换名调用
call-by-value 换值调用
capture – 捕获
case – 样例
case classes – 样例类
case objects – 样例对象

catch – 捕获
caution – 注意
chain – 串接
chained – 串接的
channels – 消息通道
characters – 字符
character sets – 字符集
cheat sheet – 速查单
check – 检查
checked exception – 受检异常
children – 后代
classes – 类
clauses – 语句
clone – 克隆
close – 关闭
closures – 闭包
code – 代码
collections – 集合
combinators – 组合子
combine – 组合
command-line – 命令行
comments – 注释
companion – 伴生的
companion classes – 伴生类
companion objects – 伴生对象
compare – 比较
compile-time – 编译期的
compilers – 编译器
components – 组件/（元组或对偶的）组元
composition – 组合
compound – 复合的
compound type – 复合类型
comprehensions – 推导式
concrete – 具体的
concurrency – 并发
consistency – 一致性
console – 控制台
constants – 常量
constraints – 约束
construct – 构造
constructors – 构造器/（Java的）构造方法
context – 上下文
continuations – 延续
contravariant – 逆变的
control flow – 控制流转
convert – 转换
copy – 拷贝，复制
covariant – 协变的
create – 创建
currying – 柯里化

D

deadlocks – 死锁
debugging – 调试
declarations – 声明
default – 缺省的（值）/默认的（情况）
definitions – 定义
delimited – 定界的
delimited continuation – 定界延续
delimiters – 定界符
dependencies – 依赖
dependency injection – 依赖注入
deprecated – 已过时的
descendants – 后代
destruct – 析构
destructors – 析构器
diamond inheritance – 菱形继承
directories – 目录
discard – 丢弃

display – 显示
documents – 文档
domain-specific languages – 领域特定语言
duck typing – 鸭子类型
dynamically typed languages – 动态类型语言

E

early definitions – 提前定义
elapsed time – 已逝去的时间
elements – 元素
elidable – 可省略的
eliding methods – 可省略方法
embedded – 内嵌的
empty – 空的/清空
enhanced – 增强的
entities – 实体
enumerations – 枚举
equality – 相等性
errors – 错误
escape hatch – 逃逸舱门
evaluate – 求值
events – 事件
evidence – 类型证明
exceptions – 异常
exhaustive – 穷举的
existential types – 存在类型
exit – 退出
explicit – 显式的
expressions – 表达式
extend – 扩展
extractors – 提取器

F

failure – 失败
fall-through – 贯穿
family polymorphism – 家族多态
fast – 快速
fields – 字段
figures – 图
files – 文件
filters – 过滤
final – 不可重写的
floating-point – 浮点数
fold – 折叠
for comprehension – for推导式
form – 范式
fragile base class – 易违约基类
functional – 函数式
functions – 函数

G

generators – 生成器
generics – 泛型
getters – getter方法
global – 全局的
grammar – 文法
greatest common divisor – 最大公约数
grouping – 分组
guards – 守卫

H

hash – 哈希
hash codes – 哈希码
hash maps – 哈希映射
hash sets – 哈希集
hash tables – 哈希表
heterogeneous – 异构的
hierarchy – 层级
higher-kinded types – 高等类型
higher-order functions – 高阶函数

I

identifiers – 标识符
identity – 身份
identity function – 恒等函数
immutable – 不可变的
implement – 实现
implicit – 隐式的
implicit conversion – 隐式转换
implicit parameters – 隐式参数
implicits – 隐式转换和隐式参数/隐式值
import – 引入
inching forward – 缓慢前行
index – 索引
inference – 推断
infinite – 无穷的
infix – 中置的
inheritance – 继承
initialize – 初始化
inline – 内联
input – 输入
instance – 实例
instructions – 指令
internal – 内部的
interoperable – 可互操作的
interpreters – 解释器
intersections – 交集
invariant – 不变的
inversion – 反转
inversion of control – 控制反转
invoke – 执行/调用
iterate – 迭代
iterate over – 遍历
iterate through – 遍历
iterators – 迭代器

J

jump tables – 跳转表

K

keys – 键
keywords – 关键字

L

laws – 法则
lazy – 懒
left associative – 左结合
left recursive – 左递归
lexers – 词法分析器
lexical analysis – 词法分析
linearization – 线性化
link – 链接
linked – 链接的
linked lists – 链表
listeners – 监听器
lists – 列表
literals – 字面量
local – 局部的
localize – 局部化
locks – 锁
loops – 循环

M

malformed – 格式错误的
maps – 映射
markup – 标记
match – 匹配
mathematical – 数学的
maximum munch rule – 最大化匹配原则
messages – 消息
meta – 元
methods – 方法

mix in – 混入
mixin – 混入
modifiers – 修饰符
modify – 修改
monads – 单子
multidimensional – 多维的
multiple inheritance – 多重继承
mutable – 可变的
mutators – 改值器

N

names – 名称
namespace – 命名空间
naming – 命名
nested – 嵌套的
newline character – 换行符
nodes – 节点
nonterminal symbols – 非终结符号
notation – 表示法
notes – 说明
numbers – 数字

O

object private – 对象私有的
objects – 对象
omit – 略去
open – 打开
operators – 操作符
optimize – 优化
order – 顺序
ordering – 顺序
ordered – 分先后的
output – 输出
overflow – 溢出
override – 重写/覆盖

P

packages – 包
packrat parsers – 记忆式解析器
pages – 页
pairs – 对偶
parallel – 并行（运算）
parameters – 参数
parentheses – 圆括号
parser trees – 解析树
parsers – 解析器
partial functions – 偏函数
partially applied functions – 部分应用的函数
pass-by-name – 传名的
paste – 粘贴
path – 路径
pattern matching – 模式匹配
patterns – 模式
piping – 管道
plugin – 插件
polymorphism – 多态
postfix – 后置的
precedence – 优先级
precision – 精度
predicate – 前提
prefix – 前置的
primary – 主要的
primary constructors – 主构造器
principles – 原则
print – 打印
private – 私有的
procedures – 过程
processes – 进程
programming languages – 编程语言
projection – 投影

projects – 项目
properties – 属性
protected – 受保护的
public – 公有的

Q

queues – 队列

R

race conditions – 争用状况
ragged – 不规则的
random – 随机的
random access – 随机访问
ranges – 区间
read – 读取
readability – 可读性
receive – 接收
recursive – 递归的
recursion – 递归
red-black trees – 红黑树
redirect – 重定向
reduce – 化简
reference – 引用
reference types – 引用类型
reflective calls – 反射调用
regex – 正则
regular expressions – 正则表达式
remote – 远程的
remove – 移除
return – 返回
return value – 返回值
reverse – 反向
right associative – 右结合的
root – 根
rules – 规则
runtime – 运行期的/运行时

S

save – 保存
scan – 扫描
scopes – 作用域
sealed – 密封的
sealed class – 密封类
selectors – 选取器
self types – 自身类型
self-closing tags – 自结束的标签
semicolons – 分号
send – 发送
sequences – 序列
serialization – 序列化
sets – 集
setters – setter方法
shared – 共享的/共用的
shell scripts – shell脚本
shorthand – 简写
simulate – 模拟
singleton – 单例
slashes – 斜杠
sort – 排序
sorted – 已排序的
square brackets – 方括号
stack – 栈
standard input – 标准输入
start – 启动
start symbol – 起始符
statements – 语句
static – 静态的
streams – 流
structural types – 结构类型
styles – 风格

subclasses – 子类
success – 成功
sum – 求和
superclasses – 超类
supertypes – 超类型
supervisors – 监管员
symbols – 符号
synchronous – 同步的
syntactic sugar – 语法糖
syntax – 语法

T

tab completion – Tab键补全
tables – 表
tail recursive – 尾递归
terminate – 终止
threads – 线程
tildes – 波浪号
tips – 提示
tokens – 标记/词法单元
toolkits – 工具包
topics – 主题
traits – 特质
trampolining – 蹦床
transform – 变换
transformation – 变换
transient – 瞬态的
traverse – 遍历
trees – 树
tuples – 元组
types – 类型
typesafe – 类型安全的

U

unary – 一元的
underscores – 下画线
undo – 撤销
unevaluated – 未求值的
uniform – 统一的
uniform access principle – 统一访问原则
uniform creation principle – 统一创建原则
uniform return type principle – 统一返回类型原则
unions – 并集
unordered – 不分先后的
uppercase – 大写

V

values – 值
varargs – 变长参数
variable-length – 变长的
variables – 变量
variance – 型变
views – 视图
view-convertible – 可视图（隐式）转换的
virtual – 虚拟的/虚（函数）
visibility – 可见性
visit – 访问
volatile – 易失的

W

whitespaces – 空白
wildcards – 通配符
working with – 操作/使用
wrappers – 包装
write – 编写/写入

Y

yield – 产生/生成/输出

Z

zip – 拉链

索　引

正文侧面标注了英文原版书页码，方便读者参考。本索引中引用的页码即英文原版书页码。

Symbols and Numbers

- (minus sign)
  - in identifiers, 132
  - operator:
    - arithmetic, 5
    - for collections, 163–164
    - for maps, 43
    - for type parameters, 237
    - left-associative, 135
    - precedence of, 134
    - unary, 10, 133
-- operator
  - arithmetic, 6
  - for collections, 163–164
  - for sets, 162–163
_ (underscore)
  - as wildcard:
    - for XML elements, 220
    - in case clauses, 25, 184–185, 221, 292
    - in imports, 7, 70, 79–80
    - in tuples, 45
  - for function calls, 144, 254
  - for function parameters, 146
  - in identifiers, 131, 283
_* syntax
  - for arrays, 187
  - for nested structures, 192
  - in function arguments, 22
  - in pattern matching, 221
_=, in setter methods, 51
_1, _2, _3 methods, 45
; (semicolon)
  - after statements, 4, 14–16
  - inside loops, 19–20
: (colon)
  - followed by annotations, 201
  - in case clauses, 186–187
  - in identifiers, 132
  - in implicits, 311–312
  - in operator names, 252
    - and precedence, 134
    - right-associative, 135, 170
  - in type parameters, 234–235
:: operator, 240
  - for lists, 159–160, 163–164
  - in case clauses, 187, 191
  - right-associative, 135, 160
::: operator, 163–164

:\ operator, 170
:+ operator, 163–164
:+= operator, 164
! (exclamation mark)
  in identifiers, 132
  in shell scripts, 105–106
  operator:
    for actors, 291, 294–295
    precedence of, 134
    unary, 133
!!, in shell scripts, 105
!= operator, 133
? (question mark)
  in identifiers, 132
  in parsers, 274
?: operator, 14
?! operator, 295
/ (slash)
  in identifiers, 132
  in XPath, 220
  operator:
    arithmetic, 5
    precedence of, 134
/: operator, 170
//
  for comments, 283
  in XPath, 220
/* ... */ comments, 283
/% operator, 6, 189
` (backquote)
  for identifiers, 132
  in case clauses, 186
^ (caret)
  in identifiers, 132
  in Pascal, 139
  operator:
    arithmetic, 5
    precedence of, 134
^? operator, 279
^^ operator, 273–275, 278
^^^ operator, 278
' (single quote)
  in symbols, 210
  parsing, 283
" (double quote), 283
""", in regular expressions, 106
~ (tilde)
  in identifiers, 132
  operator:
    in case clauses, 191
    in parsers, 271–277, 279–280
    unary, 133
~! operator, 279–280
~> operator, 274–275, 278
() (parentheses)
  as shortcut for apply method, 8
  as value of Unit , 14–15, 17
  discarding, in parsers, 274
  for annotations, 201
  for continuations, 323, 335
  for functions, 144–146, 151
  for maps, 42
  for tuples, 45, 253
  in case clauses, 187, 190
  in method declarations, 7, 50, 54
  in regular expressions, 107
  to access XML attributes, 216
[] (square brackets)
  for methods in traits, 117
  for type parameters, 232, 253
{} (braces)
  for block expressions, 16–17
  for existential types, 252
  for function arguments, 145
  for structural types, 250–251
  in imports, 80
  in package clauses, 77
  in pattern matching, 195–196, 221
  in REPL, 15
  in XML literals, 218
  Kernighan & Ritchie style for, 16
@ (at), 204
  for XML attributes, 220
  in case clauses, 192
  in identifiers, 132
$ (dollar sign), in identifiers, 132
\ (backslash)
  for nodes, 220–221
  in identifiers, 132
\\ operator, 220–221

* (asterisk)
  as wildcard in Java, 7, 79
  in identifiers, 132
  in parsers, 274
  operator:
    arithmetic, 5, 308–309
    no infix notation for, 252
    precedence of, 134
**
  in Fortran, 139
  in identifiers, 132
& (ampersand)
  in identifiers, 132
  operator:
    arithmetic, 5
    for sets, 162–164
    precedence of, 134
&...; (XML), 215
&~ operator, 162–163
&#...; (XML), 216
(number sign), 62
  for type projections, 247–249, 253
  in identifiers, 132
#:: operator, 173
#&& operator, 106
#< operator, 105–106
#> operator, 105
#>> operator, 105
#| operator, 105
#|| operator, 106
% (percent sign)
  for XML attributes, 222
  in identifiers, 132
  operator:
    arithmetic, 5
    precedence of, 134
+ (plus sign)
  in identifiers, 132
  operator:
    arithmetic, 5
    for collections, 163–164
    for maps, 43
    for type parameters, 237
    precedence of, 134
    unary, 133
+: operator
  for collections, 163–164
  in case clauses, 191
  right-associative, 135, 163
++ operator
  arithmetic, 6
  for collections, 163–164
  for sets, 162–163
++: operator, 163–164
++= operator
  for array buffers, 30
  for collections, 163–164
++=: operator, 163–164
+= operator, 315
  assignment, 133
  for array buffers, 30, 36
  for collections, 163–164, 314
  for maps, 43
+=: operator, 163–164
< (left angle bracket)
  in identifiers, 132
  in XML literals, 214
  operator:
    and implicits, 310–311
    precedence of, 134
<- operator, 18–19, 189
<: operator, 233, 235–237, 252, 259
<:< operator, 236, 312, 314
<!-- ... --> comments, 215
<? ... ?> (XML), 215
<?xml...?> (XML), 225
<~ operator, 274–275, 278
<% operator, 234
<%< operator, 236, 312–313
<< operator, 5
<= operator, 133
> (right angle bracket)
  in identifiers, 132
  operator, 134
>: operator, 233, 235
>= operator, 133
>> operator
  arithmetic, 5
  in parsers, 278

-= operator
  for collections, 163–164
  for maps, 43
--= operator, 163–164
-> operator
  for maps, 41–42
  precedence of, 134
= (equal sign)
  in identifiers, 132
  operator:
    assignment, 133–134
    precedence of, 134
    with CPS annotations, 326
=:= operator, 236, 312–313
=/= operator, 134
== operator, 134, 210
  for reference types, 96
=== operator, 134
=> operator
  for continuations, 321–324
  for functions, 151, 253–254
  for self types, 124–125, 260
  in case clauses, 184–188, 190–192, 194–195
| (vertical bar)
  in identifiers, 132
  operator:
    arithmetic, 5
    for sets, 162–163
    in parsers, 270–286
    precedence of, 134
√ (square root), 132
80 bit extended precision, 204

A

abstract keyword, 91, 113, 117
accept method, 279
act method, 290, 297–301
  blocking calls inside, 295
  running concurrently, 290
Actor trait, 290, 299
Actor companion object, 290
actors, 289–302
  anonymous, 291
  blocking, 292, 295–296, 302
  calling methods on, 302
  creating, 290–291
  global, 293
  linking, 300–301
  references to, 293–294
  sharing threads for, 296–299
  starting, 290, 299
  terminating, 299–301
addString method, 166, 173
aggregate method, 165, 173, 179
Akka project, 289
aliases, 62, 157, 249, 255
Annotation trait, 202
annotations, 199–211, 253
  arguments of, 201–202
  deprecated, 204
  for compiler optimizations, 206–210
  implementing, 202–203
  in Java, 200–206
  meta-annotations for, 203
  order of, 200
Any class, 94, 96
AnyRef class, 94–95, 102, 313
AnyVal class, 94
Apache Commons Resolver project, 224
App trait, 68
append method, 35
appendAll method, 35
Application trait, 69
apply method, 8, 67–68, 106, 135–137, 157, 190, 195, 314–315
args property, 69
array buffers, 30–31
  adding/removing elements of, 30
  appending collections to, 30
  converting to arrays, 31
  displaying contents of, 34
  empty, 30
  largest/smallest elements in, 34
  parallel implementations for, 178
  sorting, 34
  transforming, 32–33
  traversing, 31–32
Array class, 29–30, 35, 235
Array companion object, 8, 188

ArrayBuffer class, 30–31, 156, 315
  mutable, 159
  serializing, 104
  subclasses of, 36
ArrayList class (Java), 30, 37, 157
ArrayOps class, 35
arrays, 29–37
  converting to array buffers, 31
  displaying contents of, 34
  fixed-length, 29–30
  function call syntax for, 136
  generic, 235
  interoperating with Java, 37
  invariance of, 238
  largest/smallest elements in, 34
  multidimensional, 37, 68
  parallel implementations for, 178
  pattern matching for, 187
  ragged, 37
  sorting, 34
  transforming, 32–33
  traversing, 18, 31–32
  variable-length. *See* array buffers
  vs. lists, 156
ArrayStoreException, 239
asAttrMap method, 217
ASCII characters, 132
asInstanceOf method, 87, 94, 186
asJavaCollection function, 176
asJavaConcurrentMap function, 176
asJavaDictionary function, 176
asJavaEnumeration function, 176
asJavaIterable function, 176
asJavaIterator function, 176
asScalaBuffer function, 176
asScalaConcurrentMap function, 176
asScalaIterator function, 176
asScalaSet function, 176
assert method, 209
AssertionError, 209
assignments, 16–17, 133–134
  no chaining of, 17
  precedence of, 134
  right-associative, 135, 163
  value of, 17
Atom class, 217–219
Attribute trait, 222
attributes (XML), 216–217
  atoms in, 218
  entity references in, 218
  expressions in, 218–219
  iterating over, 217
  matching, 222
  modifying, 222–223
automatic conversions. *See* implicits

B

backtracking, 279–280
balanced trees, 44
  parallel implementations for, 178
bash shell, 105
bean properties, 55–56
@BeanDescription annotation, 206
@BeanDisplayName annotation, 206
@beanGetter annotation, 203
@BeanInfo annotation, 206
@BeanInfoSkip annotation, 206
@BeanProperty annotation, 55–56, 200, 205
  generated methods for, 59
@beanSetter annotation, 203
BigDecimal class, 5–6
BigInt class, 5–7, 139
BigInt companion object, 7–8
BitSet class, 162
blocks, 16–17
BNF (Backus-Naur Form), 270
Boolean type, 4, 17
@BooleanBeanProperty annotation, 205
break method, 19
Breaks object, 19
Buffer class, 315
bufferAsJavaList function, 176
buffered method, 100
BufferedInputStream class (Java), 128
Byte type, 4, 17
  arrays of, 102

C

C programming language, 184
C++ programming language
  ?: operator in, 14
  arrays in, 30

C++ programming language *(cont.)*
assignments in, 17
construction order in, 94
exceptions in, 24
expressions in, 13–15
functions in, 20–21
implicit conversions in, 306
linked lists in, 160
loops in, 18, 32
methods in, 66, 88
multiple inheritance in, 111–112
namespaces in, 74
operators in, 134
protected fields in, 88
reading files in, 100
singleton objects in, 66
statements in, 13, 15–16
`switch` in, 207
virtual base classes in, 112
`void` in, 15, 17, 95
cake pattern, 256
`case` keyword, 184, 189
catch-all pattern for, 184–185
enclosed in braces, 195–196
followed by variable, 185
infix notation in, 191
case classes, 189–196
applicability of, 192–193
declaring, 190
default methods of, 137, 190, 193
extending other case classes, 193
for channels, 294–295
for messages from actors, 291–292
in parsers, 272, 275
modifying properties in, 190
sealed, 193–194
with variable fields, 193
case objects, 189–190
casts, 87–88
`CatalogResolver` class (Java), 224
`catch` statement, 25–26
`CDATA` markup, 219, 224
chaining
assignments, 17
auxiliary constructors, 59
method calls, 36
packages, 76–77
`chainl1` method, 278
`Channel` class, 294–295
`Char` type, 4, 17, 281
character references, 216
character sets, 102
characters
common, in two strings, 5
in identifiers, 132, 283
reading, 17, 100–101
sequences of, 10
uppercase, 10
circular dependencies, 24, 125
`class` keyword, 49, 253
class files, 202
`ClassCastException`, 209
classes, 8, 49–62, 253
abstract, 91
abstract types in, 257
and primitive types, 4
annotated, 200
case. *See* case classes
combined with primary constructor, 60
concrete, 120
definitions of, 58
using traits in, 115
equality in, 95
extending, 67, 85–86
Java classes, 89
only one superclass, 119
granting access to, 55–56
immutable, 6
implementing, 231
importing members of, 70, 79
inheritance hierarchy of, 94–95
interoperating with Java, 52
linearization of, 121
mutable, 193
names of, 131–132
nested, 60–62, 247
properties of, 51, 53
serializable, 104, 204
type aliases in, 249
type parameters in, 232

visibility of, 50
vs. singletons, 7
vs. traits, 122
ClassfileAnnotation trait, 202
classOf method, 87
Cloneable interface (Java), 114, 204
@cloneable annotation, 204
close method, 100
closures, 148
collect method, 165, 168, 173, 196
collectionAsScalaIterable function, 176
collections, 155–179
adding/removing elements of, 163–164
applying functions to all elements of, 147, 165–168
combining, 171–172
companion objects of, 315
constructing instances of, 157
converting to specific type, 166
filtering, 165
folding, 165, 169–171
hierarchy of, 35, 156–157
immutable, 157–158
interoperating with Java, 175–177
methods for, 164–167
mutable, 157–158, 164, 177
ordered, 156, 163
parallel, 178–179
reducing, 165, 168–169
scanning, 165, 171
serializing, 104
threadsafe, 177
traits for, 156–157
traversing, 18, 32, 156, 206–207
unevaluated, 174
unordered, 156, 163–164
vs. iterators, 173
com.sun.org.apache.xml.internal.resolver.tools package, 224
combinators, 277–280
command-line arguments, 69
comma-separated lists, 277
comments
in lexical analysis, 270
in XML, 215
parsing, 224, 282–283
companion objects, 7, 62, 66–67, 136, 157, 248, 310
implicits in, 307
Comparable interface (Java), 36, 210–211, 233–234, 310
compareTo method, 233
compiler
CPS transformations in, 332
implicits in, 309, 313–314
internal types in, 254
optimizations in, 206–210
Scala annotations in, 200
transforming continuations in, 325
compiler plugin, 200
Component class (Java), 127
compound types, 250–251, 253
comprehensions, 20
computation with a hole, 321–324, 328
concurrency, 178
ConcurrentHashMap class (Java), 177
ConcurrentSkipListMap class (Java), 177
console
input from, 17, 101
printing to, 17, 103
Console class, 103
ConsoleLogger trait, 115
constants. *See* values
ConstructingParser class, 224–225
constructors
auxiliary, 56–57, 88
chaining, 59
eliminating, 58
order of, 92–94
parameterless, 58, 122
parameters of, 55, 57–60
annotated, 203
implicit, 235
primary, 56–60, 88
annotated, 201
private, 60
superclass, 88–89
vals in, 93
Container class (Java), 127
contains method, 42, 162, 166, 173
containsSlice method, 166, 173
context bounds, 234–235

continuations, 319–336
  boundaries of, 320
  capturing, 320–321, 326, 330
  in web applications, 329–332
  invoking, 320–323
  plugin for, 321
control abstractions, 151–152
control flow
  combinators for, 298
  inversion of, 329
  using continuations for, 319–336
ControlContext class, 332–336
copy method, 193, 222
  of case classes, 190
copyToArray method, 36, 166, 173
copyToBuffer method, 166, 173
corresponds method, 150, 237
count method, 10, 36, 165, 173
CPS (continuation-passing style) transformations, 325–327, 332–336
  code generated by, 334
  of nexted control contexts, 334–336
@cps annotation, 325–327, 330
@cpsParam annotation, 325
Curry, Haskell Brooks, 149

D
deadlocks, 289, 295, 302
debugging
  reading from strings for, 102
  reporting types for, 34
def keyword, 20
  abstract, 89
  in parsers, 280
  overriding, 89–90
  parameterless, 89
  return value of, 280
default statement, 184
definitions, 19–20
DelayedInit trait, 69
Delimiters type, 309
dependency injections, 255–257
@deprecated annotation, 203, 210
@deprecatedName annotation, 202, 210
destructuring, 188, 191
diamond inheritance problem, 112–113
dictionaryAsScalaMap function, 176
diff method, 162, 167, 173
directories
  and packages, 74
  naming, 11
  printing, 104, 326
  traversing, 103–104
Directory class, 103
do loop, 18
docElem method, 224
DocType class, 225
domain-specific languages, 131, 269
Double type, 4, 17
DoubleLinkedList class (Java), 159, 161
drop method, 165, 173
dropRight method, 165
dropWhile method, 165, 173
DTDs (Document Type Definitions), 224–225
duck typing, 250
dynamically typed languages, 250

E
early definitions, 93, 122–123
EBNF (Extended Backus-Naur Form), 271–272
Eiffel programming language, 53
Either type, 266
elem keyword, 160–161
Elem type, 214, 222, 227, 281
elements (XML), 214
  attributes of. *See* attributes (XML)
  child, 221–222
  empty, 226
  matching, 220
  modifying, 222–223
@elidable annotation, 208–209
empty keyword, 161
Empty class, 240
endsWith method, 166, 173
entity references, 215
  in attributes, 216, 218
  resolving, 225
EntityRef class, 216
Enumeration class, 69–71
enumerationAsScalaIterator function, 176

enumerations, 69–71
  simulating, 194
eq method, 95
equals method, 95–96, 190, 193
  overriding, 96
  parameter type of, 96
err method, 279
error messages, 86
  explicit, 285
  type projections in, 249
escape hatch, 132
event handlers, 297
eventloop method, 299
evidence objects, 313
Exception trait, 254
exceptionHandler method, 300
exceptions, 24–26
  catching, 25
  checking at compile time, 24
  in Java, 204–205
exists method, 165, 173
exit method, 299–300
expressions
  annotated, 201
  conditional, 14–15
  traversing values of, 18
  type of, 14
  vs. statements, 13
extends keyword, 85, 93, 113–114
extractors, 107, 136–138, 188

F

failure method, 279
fall-through problem, 184
family polymorphism, 259–262
@field annotation, 203
fields
  abstract, 91–92, 119–120, 122
  accessing uninitialized, 93
  annotated, 200
  comparing, 193
  concrete, 92, 118–119
  copying, 193
  for primary constructor parameters, 55, 59
  getter/setter methods for, 51, 55–56, 59
  hash codes of, 96, 193
  immutable, 59
  object-private, 54–55, 59
  overriding, 89–90, 119–120, 122
  printing, 193
  private, 53–54
  private final, 53
  protected, 88
  public, 50
  static, 65
  transient, 203
  volatile, 203
File class, 103
file2RichFile method, 308
FileInputStream class (Java), 102
files
  and packages, 74
  appending, 105
  binary, 102
  naming, 11
  processing, 99–106
  reading, 100–101, 320
  redirecting input/output for, 105
  saving, 225–226
  writing, 102–103
FileVisitor interface (Java), 103
filter method, 33, 147, 165, 173, 195
final keyword, 53
finally statement, 25–26
findAllIn method, 106
findFirstIn method, 106
findPrefixOf method, 107
flatMap method, 165, 167–168, 173, 333, 335–336
Float type, 4, 17
floating-point calculations, 204
fluent interfaces, 246–247
fold method, 165, 173, 179
foldLeft method, 152–153, 165, 169–170, 173, 179, 239
foldRight method, 165, 170, 173, 179
for loop, 18–20
  annotated as CPS, 327
  enhanced (Java), 32
  for arrays, 31–33
  for maps, 43–44

for loop *(cont.)*
for regex groups, 107
parallel implementations for, 178
pattern matching in, 189
range-based (C++), 32
regular expressions in, 106
with Option type, 195
forall method, 165, 173
force method, 175
foreach method, 147, 165, 168, 173, 195, 327
format method, 102
Fortran programming language, 139
Fraction class, 136–137
Fraction companion object, 307
fraction2Double method, 308
FractionConversions companion object, 307
fragile base class problem, 86
French delimiters, 310
fromString method, 102
fromURL method, 102
functional programming languages, 143
functions, 20–21, 143–152, 253
anonymous, 21, 144–146, 152
as method parameters, 10, 144
binary, 147–148, 168
calling, 7, 144
curried, 149–151, 309
defining, 20
exiting immediately, 21
from methods, 254
higher-order, 145–148
implementing, 231
importing, 7
left-recursive, 276
mapping, 167–168
names of, 10, 131–132, 306
nested, 19
parameterless, 150–151, 320
parameters of, 20, 145–146
call-by-name, 151
default, 21
named, 21
only one, 146, 238
type, 232
type deduction in, 146
variable, 22–23
partial, 168, 195–196, 279, 292, 297
passing to another function, 144–146, 149
recursive, 20–22
return type of, 4, 20, 23
return value of, 150–152, 320
scope of, 148
storing in variables, 143–144
syntax of, 135–136
vs. variables, in parsers, 279

G

generators, 19–20
GenIterable trait, 178
GenMap trait, 178
GenSeq trait, 178
GenSet trait, 178
GenTraversable trait, 196
get method, 42, 194, 216
getLines method, 100, 174
getOrElse method, 42, 195, 217
getResponse method, 329–331
@getter annotation, 203
getXxx methods, 52, 55, 205
grammars, 270–271
left-recursive, 280
Group type, 219
grouped method, 166, 172–173
guard method, 279
guards, 19–20, 32, 185
for pattern matching, 222
in for statements, 189
variables in, 185

H

hash codes, 94, 96
hash maps, 293
hash sets, 161
hash tables, 41, 44
parallel implementations for, 178
hashCode method, 96, 161, 190, 193
overriding, 96
Haskell programming language, 21
hasNext method, 118, 173
head method, 100, 159–160, 165
headOption method, 165

Hindley-Milner algorithm, 21
HTTP (Hypertext Transfer Protocol), 102, 269

I
id method, 70
ident method, 284
identifiers, 131–132, 283
identity functions, 313
IEEE double values, 204
if/else expression, 14–15, 25
implements keyword, 113
implicit keyword, 10, 306, 309–311
implicit conversions, 10, 36–37, 131, 149, 305–316
  adapting functions to interfaces with, 103
  ambiguous, 308–309
  for parsers, 282
  for strings to ProcessBuilder objects, 105
  for type parameters, 234
  importing, 307–308, 312
  multiple, 308
  naming, 306
  rules for, 308–309
  unwanted, 175, 306–307
  uses of, 306–307
implicit parameters, 235, 265, 309–316
  not available, 210, 313
  of common types, 310
implicit values, 234–235
implicitly method, 311–313
@implicitNotFound annotation, 210, 313–314
:implicits in REPL, 307
import statement, 70, 74, 79–81
  implicit, 80–81, 104
  location of, 80
  overriding, 81
  selectors for, 80
  wildcards in, 7, 79–80
inching forward, 333
IndexedSeq trait, 156, 315
IndexedSeq companion object, 315
indexOf method, 166, 173
indexOfSlice method, 166, 173
indexWhere method, 166, 173
infix notation, 132–133, 251–253
  in case clauses, 191
  in math, 251
  with anonymous functions, 145
inheritance hierarchy, 94–95
init method, 165
@inline annotation, 208
InputChannel trait, 294
Int type, 4, 17, 234, 236
  immutability of, 6
  no null value in, 95
int2Fraction method, 307–308
intersect method, 5, 162, 167, 173
intersection types. *See* compound types
into combinator, 277–278
inversion of control problem, 297
isDefinedAt method, 195
isEmpty method, 165, 173
isInstanceOf method, 87, 94, 186
isSet method, 296
istream::peek function (C++), 100
Iterable trait, 35, 156, 239, 263–265
  and parallel implementations, 178
  important methods of, 164–167, 173
iterableAsScalaIterable function, 176
iterator method, 172
Iterator trait, 118, 156, 173
iterators, 100, 172–173
  from iterations, 337
  from recursive visits, 326–329, 334–336
  mutable, 173
  next method of, 329
  turning into arrays, 106
  vs. collections, 173
  weakly consistent, 177

J
Java programming language
  ?: operator in, 14
  annotations in, 200–206
  arrays in, 30, 37, 157, 239
  assertions in, 209
  assignments in, 17
  asynchronous channels in, 302
  casts in, 87
  checked exceptions in, 205

Java programming language *(cont.)*
classes in, 85–86
hierarchy of, 61
serializable, 104
vs. Scala, 8
closures in, 148
construction order in, 94
dependencies in, 256
event handling in, 259
exceptions in, 24, 204
expressions in, 13–15
fields in:
protected, 88
public, 50
identifiers in, 131–132
imports in, 7
interfaces in, 111–114, 125–126
interoperating with Scala:
arrays, 37
classes, 52, 89, 200, 204
collections, 175–177
fields, 203–204
maps, 44–45, 189
methods, 204–205
traits, 125–126
linked lists in, 157, 160
loops in, 18, 32
maps in, 156
methods in, 66, 86, 88
abstract, 91
overriding, 93
static, 7, 20–21
with variable arguments, 23
missing values in, 236
modifiers in, 203–204
no multiple inheritance in, 111
no variance in, 211
`null` value in, 95
objects in, 161
operators in, 134
packages in, 74, 76, 78
primitive types in, 30, 94
reading files in, 100–102
SAM types in, 149
singleton objects in, 66
statements in, 13, 15–16
superclass constructors in, 89
`switch` in, 207
`synchronized` in, 95
`toString` in, 34
traversing directories in, 103–104
type checks in, 87
`void` in, 15, 17, 95
wildcards in, 79, 241, 252
Java AWT library, 127
`java.io.InputStream` class, 223
`java.io.Reader` class, 223
`java.io.Writer` class, 225
`java.lang` package, 80–81
`java.lang.Integer` class, 209
`java.lang.ProcessBuilder` class, 37
`java.lang.String` class, 5, 234
`java.lang.Throwable` class, 24
`java.math.BigDecimal` class, 5
`java.math.BigInteger` class, 5
`java.nio.file.Files` class, 103–104
`java.util` package, 176
`java.util.Comparator` class, 210
`java.util.concurrent` package, 177
`java.util.Properties` class, 44
`java.util.Scanner` class, 46, 101
`java.util.TreeSet` class, 162
JavaBeans, 55–56, 127, 205–206
`JavaConversions` class, 37, 44, 175–177
JavaEE, 200
JavaScript, 219
closures in, 148
duck typing in, 250
`JavaTokenParsers` trait, 282–283
`JComponent` class (Swing), 127
`JContainer` class (Swing), 127
JDK (Java Development Kit), 196, 224
JSON (JavaScript Object Notation), 269
jump tables, 207
JUnit, 200–201
JVM (Java Virtual Machine)
continuation support in, 332
generic types in, 235
inlining in, 208
stack in, 206, 325
transient/volatile fields in, 203

K

Kernighan & Ritchie brace style, 16
keySet method, 44

L

last method, 165
lastIndexOf method, 166, 173
lastIndexOfSlice method, 166, 173
lastOption method, 165
lazy keyword, 23–24, 123
length method, 165, 173
lexers, 270
lexical analysis, 270
li (XML), 217–218
link method, 300–301
linked hash sets, 162
LinkedHashMap class, 44
LinkedList class (Java), 157, 159–161
List class, 191, 263, 272
  immutable, 157–158
  implemented with case classes, 193
List interface (Java), 157
lists, 159–160
  adding/removing elements of, 163–164
  constructing, 135, 159
  destructuring, 160, 191
  empty, 95
  heterogeneous, 196
  immutable, 173, 240
  linked, 156
  mutable, 160–161
  order of elements in, 161
  pattern matching for, 187–188
  traversing, 160
  vs. arrays, 156
literals. *See* XML literals
loadFile method, 223
locks, 289
log method, 279
log messages
  adding timestamp to, 116
  printing, 279
  truncating, 116
  types of, 118
Logged trait, 115–116
LoggedException trait, 125
Logger trait, 118
Long type, 4, 17
loop combinator, 298
loops, 18–20
  breaking out of, 19
  for collections, 18
  infinite, 298–299
  variables within, 19
  vs. folding, 170–171
loopWhile combinator, 298

M

mailboxes, 292–293, 296–299, 301–302
main method, 68
makeURL method, 218
Manifest object, 235, 265
map method, 33, 147, 165, 167–168, 173, 195, 263–264, 333–335
Map trait, 41–42, 156, 194
  immutable, 157
mapAsJavaMap function, 176
mapAsScalaMap function, 44, 176
maps, 41–46
  blank, 42
  constructing, 41–42
    from collection of pairs, 46
  function call syntax for, 136
  immutable, 42–43
  interoperating with Java, 44–45
  iterating over, 43–44
  keys of:
    checking, 42
    removing, 43
    visiting in insertion order, 44
  mutable, 42–43
  reversing, 44
  sorted, 44
  traversing, 189
  values of, 42–43
match expression, 184–188, 190–192, 194–195, 207–208, 237
MatchError, 184
mathematical functions, 7, 10
max method, 34, 36, 165, 173
maximum munch rule, 284
MessageFormat.format method (Java), 23

messages
asynchronous, 291–292
case classes for, 291–292
contextual data in, 302
receiving, 292–293
returning to sender, 294–295
sending, 293–294
serializing, 293
synchronous, 295–296, 302
MetaData classtype, 216–217, 222
method types (in compiler), 254
methods
abstract, 89, 91–92, 113, 117, 125
abundance of, 8, 10
accessor, 50
annotated, 200
calling, 2, 4, 7, 50–51, 117
chained, 246
co-/contravariant, 313
concrete, 125
declaring, 50
eliding, 208–209
executed lazily, 174–175
final, 86, 96, 207
for primary constructor parameters, 59
getter, 51–54, 92, 200, 205
in superclass, 86–87
inlining, 208
modifiers for, 78–79
mutator, 50
names of, 6
misspelled, 86
overriding, 86–87, 89–90, 117
parameterless, 7, 50, 89
parameters of, 86, 232, 239, 246
two, 6
type, 232
using functions for, 10, 144
private, 53, 207
protected, 88, 299
public, 51
return type of, 239, 246, 326, 336
return value of, 232
setter, 51–54, 92, 200, 205
static, 65, 125
turning into functions, 144, 254
used under certain conditions, 236
variable-argument, 23, 205
with shift , 325–326
Meyer, Bertrand, 53
min method, 7, 34, 165, 173
mkString method, 34, 166, 173
ML programming language, 21
monad laws, 333
mulBy function, 145, 148
multiple inheritance, 111–113
mutableMapAsJavaMap function, 176
mutableSeqAsJavaList function, 176
mutableSetAsJavaSet function, 176

N

NamespaceBinding class, 226
namespaces, 226–227
@native annotation, 204
negation operator, 10
new keyword, 61
omitting, 136, 190, 192–193
newline character
in long statements, 16
in printed values, 17
inside loops, 20
next method, 118, 160–161, 173, 329
Nil list, 95, 159–160, 210, 240
Node type, 214–216, 240
node sequences, 214
binding variables to, 221
descendants of, 220
grouping, 219
immutable, 216, 222
traversing, 214
turning into strings, 216
NodeBuffer class, 215–216
NodeSeq type, 214–216, 220–221
@noinline annotation, 208
None object, 194–195, 272–273
nonterminal symbols, 271
not method, 279
Nothing type, 25, 95, 237, 240
notify method, 95
notifyAll method, 95
null value, 95, 236
Null type, 95, 223

NumberFormatException, 101
numbers
  classes for, 10
  converting:
    between numeric types, 5, 8
    to arrays, 101
  greatest common divisor of, 139
  in identifiers, 283
  invoking methods on, 4
  parsing, 278, 283
  random, 7
  ranges of, 10
  reading, 17, 101
  sums of, 34
  writing, 102
numericLit method, 284

O
object keyword, 65–70, 247
Object class, 94–95
  as method parameter, 246
objects, 65–70
  adding traits to, 115
  cloneable, 204
  compound, 193
  constructing, 8, 50, 66, 115
  default methods for, 161
  equality of, 94–96
  extending class or trait, 67
  extracting values from, 188
  importing members of, 70, 79
  nested, 192
  nested classes in, 60–62, 247
  no type parameters for, 240
  of a given class, 87–88
  pattern matching for, 186
  remote, 204
  scope of, 248
  serializable, 104, 250
  type aliases in, 249
ofDim method, 37
operators, 131–138
  arithmetic, 5–6
  assignment, 133–135
  associativity of, 135, 179
  binary, 133–135
  for adding/removing elements, 162–164
  infix, 132–134
  parsing, 284
  postfix, 134
  precedence of, 134–135, 252, 273
  unary, 133
opt method, 271–272
Option class, 42, 106, 136, 138, 165, 194–195, 217, 236, 272–273
Ordered trait, 34, 36, 234, 310–312
Ordering type, 36, 311–312
orNull method, 236
OSGi (Open Services Gateway initiative framework), 256
OutOfMemoryError, 174
OutputChannel trait, 294
override keyword, 86–87, 89–90, 113, 117
  omitted, 91–92
@Overrides annotation, 86

P
package objects, 78
packages, 74–81
  adding items to, 74
  chained, 76–77
  defined in multiple files, 74
  importing, 79–81
    always, 80–81, 104
    selected members of, 80
  modifiers for, 78–79, 88
  naming, 76–77, 81
  nested, 75–77
  scope of, 248
  top-of-file notation for, 77
packrat parsers, 280–281
PackratParsers trait, 280
PackratReader class, 281
padTo method, 36, 166, 173
Pair class, 239, 241
par method, 178
@param annotation, 203
parameters
  annotated, 200
  curried, 237
  deprecated, 210
  named, 190

ParIterable trait, 178
ParMap trait, 178
parse method, 272
parse trees, 274–275
parseAll method, 272, 279, 281, 284–285
ParSeq trait, 178
parsers, 269–286
  backtracking in, 279–280
  entity map of, 225
  error handling in, 285–286
  numbers in, 278
  output of, 273–274
  regex, 282–283, 286
  strings in, 278
  whitespace in, 282
Parsers trait, 271, 281–286
ParSet trait, 178
PartialFunction class, 195–196, 292
partition method, 46, 165, 173
Pascal programming language, 139
patch method, 10
paths, 248–249
pattern matching, 183–196
  and +: operator, 164
  by type, 186–187
  classes for. *See* case classes
  extractors in, 136
  failed, 136
  for arrays, 187
  for lists, 160, 187–188
  for maps, 43
  for objects, 186
  for tuples, 45, 187–188
  guards in, 185
  in actors, 291
  in XML, 221–222
  jump tables for, 207
  nested, 192
  not exhaustive, 210
  variables in, 185–186
  vs. type checks and casts, 87–88
  with Option type, 195
PCData type, 219
permutations method, 167, 173
phrase method, 279
piping, 105
polymorphism, 192
Positional trait, 279, 286
positioned method, 279, 286
pow method, 7, 139
Predef object, 87, 157, 209
  always imported, 80–81
  implicits in, 310–313
prefixLength method, 166, 173
PrettyPrinter class, 226
prev method, 161
print method, 17, 101
printf method, 17, 102–103
println method, 17
PrintStream.printf method (Java), 23
PrintWriter class (Java), 102
PriorityQueue class, 159
private keyword, 51–62, 78
probablePrime method, 7
procedures, 23
process method, 330–331
Process object, 106
process control, 105–106
ProcessBuilder class (Java), 37
  constructing, 106
  implicit conversions to, 105
processing instructions, 215
product method, 165, 173
programs
  concurrent, 178
  displaying elapsed time for, 69
  implicit imports in, 80–81, 104
  piping, 105
  readability of, 6
  self-documenting, 262
properties, 51
  in Java. *See* bean properties
  read-only, 53
  write-only, 54
Properties class (Java), 189
propertiesAsScalaMap function, 176
property change listener, 127
PropertyChangeSupport class (Java), 127
protected keyword, 78, 88
public keyword, 50, 78
PushbackInputStreamReader class (Java), 100
Python, 148

Q

Queue class, 158–159
quickSort method, 34

R

r method, 106
race conditions, 289, 293–294
Random object, 7
RandomAccess interface (Java), 157
Range class, 4, 10, 263–264, 315
  immutable, 158
  traversing, 18
raw string syntax, 106
react method, 294, 297–299, 302
reactWithin method, 296
read method, 308
readBoolean method, 17
readByte method, 17
readChar method, 17
readDouble method, 17, 101
readFloat method, 17
readInt method, 17, 101
readLine method, 17
readLong method, 17, 101
readShort method, 17
receive method, 292–295
receiveWithin method, 296
recursions, 158
  for lists, 160
  infinite, 298
  left, 276–277
  tail, 206–207
  turning into iterations, 326–329, 334–336
red-black trees, 162
reduce method, 165, 173, 179
reduceLeft method, 147, 165, 168, 173, 179
reduceRight method, 165, 169, 173, 179
reference types
  == operator for, 96
  assigning null to, 95
reflective calls, 250
Regex class, 106
RegexParsers trait, 271, 281–283, 286
regular expressions, 106–107
  for extractors, 188
  grouping, 107
  in parsers, 282–283
  matching tokens against, 271
  raw string syntax in, 106
  return value of, 272
Remote interface (Java), 204
@remote annotation, 204
rep method, 271–272, 277–278
rep1 method, 278
rep1sep method, 278
REPL (read-eval-print loop), 2–3
  braces in, 15
  implicits in, 307, 313
  paste mode in, 15, 67
  types in, 144, 249
replaceAllIn method, 107
replaceFirstIn method, 107
reply method, 295
repN method, 278
repsep method, 278
reset method, 320–336
  value of, 323
  with type parameters, 323–325
restart method, 301
result method, 207
return keyword, 21, 152
reverse method, 167, 173
RewriteRule class, 223
rich interfaces, 118
RichChar class, 5
RichDouble class, 5, 10
RichFile class, 306–307
RichInt class, 5, 10, 18, 31, 234
RichString class, 234
root in package names, 76–77
Ruby programming language
  closures in, 148
  duck typing in, 250
RuleTransformer class, 223
run method (Java), 290
Runnable interface (Java), 290

S

SAM (single abstract method) conversions, 149
save method, 225
SAX parser, 224

scala package, 157
  always imported, 76, 80–81, 104
Scala programming language
  embedded languages in, 131, 269
  interoperating with:
    Java, 37, 44–45, 52, 89, 125–126, 175–177, 189, 200–206
    shell programs, 105
  interpreter of, 1–3
  older versions of, 69, 103
scala/bin directory, 1
scala.collection package, 157, 176
scala.collection.JavaConversions package, 189
scala.math package, 7, 10
scala.sys.process package, 105
scala.tools.nsc.io package, 103
scala.util package, 7
Scaladoc, 5, 8–11, 35–36, 206
ScalaObject interface, 95
scanLeft method, 171
scanRight method, 171
sealed keyword, 193–194
segmentLength method, 166, 173
self types, 62, 124–125
  dependency injections in, 256–257
  no automatic inheritance for, 255
  structural types in, 125
  typesafe, 260
  vs. traits with supertypes, 125
Seq trait, 22, 35, 156, 237
  important methods of, 166
Seq[Char] class, 10
Seq[Node] class, 214, 216
seqAsJavaList function, 176
sequences
  adding/removing elements of, 164
  comparing, 150, 237
  extracting values from, 138–139
  filtering, 147
  immutable, 158–159
  integer, 158
  mutable, 159
  of characters, 10
  reversing, 167
  sorting, 148, 167
  with fast random access, 158
ser method, 178
Serializable trait, 104, 204
Serializable interface (Java), 114
@serializable annotation, 204
serialization, 104
@SerialVersionUID annotation, 104, 204
Set trait, 156–157
setAsJavaSet function, 176
sets, 161–162
  adding/removing elements of, 163–164
  difference of, 162–163
  finding elements in, 161
  hash. *See* hash sets
  intersection of, 162–163
  order of elements in, 161
  sorted. *See* sorted sets
  union of, 162–163
@setter annotation, 203
setXxx methods, 52, 55, 205
shared states, 289, 301
shell scripts, 105–106
shift method, 320–335
  with type parameters, 323–325
Short type, 4, 17
singleton objects, 7, 65–66, 247
  case objects for, 189
  vs. classes, 7
singleton types, 246–247, 249, 253
slice method, 165, 173
sliding method, 166, 172–173
SmallTalk programming language, 54
Some class, 194–195, 272–273
sortBy method, 167, 173
sorted method, 34, 167, 173
sorted sets, 162
SortedMap trait, 156
SortedSet trait, 156
sortWith method, 148, 167, 173
Source object, 100–102
span method, 165, 173
@specialized annotation, 209–210
splitAt method, 165, 173
Spring framework, 256
sqrt method, 7, 308
Stack class, 158–159
stack overflow, 206

standard input, 102
StandardTokenParsers class, 283
start method, 290, 299
start symbol, 271–272
startsWith method, 166, 173
statements
  and line breaks, 16
  terminating, 15–16
  vs. expressions, 13
StaticAnnotation trait, 202
stdin method, 102
StdLexical trait, 284–285
StdTokenParsers trait, 281, 284
StdTokens trait, 283
Stream class, 158
streams, 173–174
@strictfp annotation, 203–204
String class, 102, 106
stringLit method, 284
StringOps class, 5, 10, 46
strings, 5
  characters in:
    common, 5
    distinct, 7
    uppercase, 10
  classes for, 10
  converting:
    from any objects, 5
    to numbers, 8, 101
    to ProcessBuilder objects, 105
  parsing, 278, 283
  traversing, 18
  vs. symbols, 210
structural types, 91, 125, 250
  adding to compound types, 251
subclasses
  anonymous, 91
  concrete, 92
  equality in, 96
  implementing abstract methods in, 113
subsetOf method, 162
success method, 279
sum method, 34, 165, 173
super keyword, 86–87, 117
super keyword (Java), 89
superclasses, 123–124
  abstract fields in, 92
  constructing, 88–89
  extending, 126
  methods of:
    abstract, 91
    new, 86
    overriding, 90
  no multiple inheritance of, 111, 114, 119
  scope of, 248
  sealed, 193–194
supertypes, 14, 36
supervisors, 300–302
@suspendable annotation, 325
Swing toolkit, 127–128
switch statement, 15, 184
@switch annotation, 207–208
Symbol class, 202
symbols, 210
synchronized method, 95
SynchronizedBuffer trait, 177
SynchronizedMap trait, 177
SynchronizedPriorityQueue trait, 177
SynchronizedQueue trait, 177
SynchronizedSet trait, 177
SynchronizedStack trait, 177
syntactic sugar, 241, 252

T

tab completion, 2
tail method, 159–160, 165
TailCalls object, 207
TailRec object, 207
@tailrec annotation, 207
take method, 165, 173
takeRight method, 165
takeWhile method, 165, 173
@Test annotation, 201
text method, 216
Text class, 217
  pattern matching for, 221
this keyword, 36, 53, 59, 88, 124–125, 246, 260
  aliases for, 62, 255
  scope of, 248

threads
  blocking, 331
  sharing, 296–299, 302
throw expression, 25
@throws annotation, 204
TIMEOUT object, 296
to method, 5, 18, 159
toArray method, 31, 100, 166, 173
toBuffer method, 31, 100
toChar method, 5
toDouble method, 5, 101
toIndexedSeq method, 166, 173
toInt method, 5, 101
toIterable method, 166, 173
token method, 284–285
Token type, 281
tokens, 270
  discarding, 274–275
  matching against regexs, 271
Tokens trait, 283
toList method, 166, 173
toMap method, 46, 166, 173
toSeq method, 166, 173
toSet method, 166, 173
toStream method, 166, 173
toString method, 5, 34, 70, 190, 193, 217
trait keyword, 113, 253
traits, 113–126, 253
  abstract types in, 257
  adding to objects, 115
  construction order of, 116–117, 120–122
  dependencies in, 125, 256–257
  extending, 67
    classes, 123–124
    other traits, 115–119, 122–123
    superclass, 126
  fields in:
    abstract, 119–120, 122
    concrete, 118–119
  for collections, 156–157
  for rich interfaces, 118
  implementing, 114, 235
  layered, 116–117
  methods in, 114–115, 125
    overriding, 117
    unimplemented, 113
  parameterless constructors of, 122–123
  type parameters in, 232
  vs. classes, 122
  vs. Java interfaces, 111–114, 125
  vs. structural types, 250
trampolining, 207
transform method, 223
@transient annotation, 203
Traversable trait, 35
TraversableOnce trait, 35
TreeMap class (Java), 44
trees, 326–329
trimEnd method, 30
try statement, 25–26
  exceptions in, 152
tuples, 41, 45–46, 253
  accessing components of, 45
  converting to maps, 46
  pattern matching for, 187–188
  zipping, 46
type keyword, 246–247, 249, 253
type constraints, 312–313
type constructors, 263–265
type parameters, 91, 231–241, 253, 258, 310
  annotated, 201
  bounds for, 232–235
  context bounds of, 311–312
  implicit conversions for, 234
  infix notation for, 251–252
  not possible for objects, 240
  structural, 250
  with continuations, 323–325
type projections, 62, 247–249, 253
  in forSome blocks, 253
types, 4–5
  abstract, 257, 281
    bounds for, 259
    made concrete in subclass, 249, 257
  aliases for, 157
  annotated, 201
  anonymous, 92
  checking, 87–88
  constraints of, 236–237
  converting between, 5
  enriched, 306–307
  equality of, 236

errors in, 239
existential, 241
generic, 235, 241
implementing multiple traits, 235
inference of, 236–237
invariant, 241
matching by, 186–187
naming, 262
primitive, 4, 30, 209
subtypes of, 236
variance of, 237–241
view-convertible, 236
wrapper, 4

U
ul (XML), 218
unapply method, 136–138, 188, 190–191
unapplySeq method, 138–139, 188
unary_ methods, 133
UncaughtException, 300
@unchecked annotation, 210
@uncheckedVariance annotation, 210–211
Unicode characters, 132
uniform access principle, 53
uniform creation principle, 157
uniform return type principle, 167
union method, 162
Unit class, 23, 94–95, 320, 323, 326, 335–336
value of, 14–15, 17
Unparsed type, 219
until method, 18, 31, 151–152, 159
update method, 135–136
URIs (Uniform Resource Identifiers), 226
URLs (Uniform Resource Locators)
loading files from, 223
reading from, 102
redirecting input from, 106

V
val fields, 3
declarations of, 3–4
early definitions of, 93
final, 93
generated methods for, 53, 56, 59
in forSome blocks, 253
in parsers, 280
initializing, 3, 16, 23–24
lazy, 23–24, 93, 123, 280
overriding, 89–90, 92
private, 56
scope of, 248
specifying type of, 3
storing functions in, 143–144
Value method, 69–70
value classes, 193
valueAtOneQuarter method, 146
values
binding to variables, 192
naming, 186
printing, 17
values method, 44
var fields, 3
annotated, 200
declarations of, 3–4
extractors in, 136
pattern matching in, 188–189
generated methods for, 56, 59
initializing, 3
no path elements in, 249
overriding, 90
private, 56
specifying type of, 4, 232
updating, 43
vs. function calls, in parsers, 279
@varargs annotation, 205
variables
binding to values, 192
in case clauses, 185
naming, 131–132, 186
vector type (C++), 30
Vector class, 158
view method, 174–175
view bounds, 234–235
void keyword (C++, Java), 15, 17, 95
@volatile annotation, 203

W
wait method, 95
walkFileTree method (Java), 103–104
web applications, 329–332
while loop, 18, 151
annotated as CPS, 327

whitespace
  in lexical analysis, 270
  parsing, 224, 282–283
wildcards
  for XML elements, 220
  in catch statements, 25
  in imports, 7, 79–80
  in Java, 79, 241, 252
with keyword, 93, 114–115, 235, 250–251, 253
wrapper types, 4

X
-Xcheckinit compiler flag, 93
-Xelide-below compiler flag, 208–209
XHTML (Extensible Hypertext Markup Language), 219
XhtmlParser class, 225
XML (Extensible Markup Language), 213–227
  attributes in, 216–219, 222–223
  character references in, 216
  comments in, 215
  elements in, 222–223, 226
  entity references in, 215–216, 225
  including non-XML text into, 219
  loading, 223
  malformed, 219
  namespaces in, 226–227
  nodes in, 214–216
  processing instructions in, 215
  saving, 217, 225–226
  self-closing tags in, 226
  transforming, 223
XML declarations, 225
XML literals, 214
  braces in, 218
  embedded expressions in, 217–218
  entity references in, 216
  in pattern matching, 221–222
XPath (XML Path language), 220–221
-Xprint compiler flag, 309, 334

Y
yield keyword
  as Java method, 132
  in loops, 20, 32, 178

Z
zip method, 46, 165–173
zipAll method, 165, 172–173
zipWithIndex method, 165, 172–173