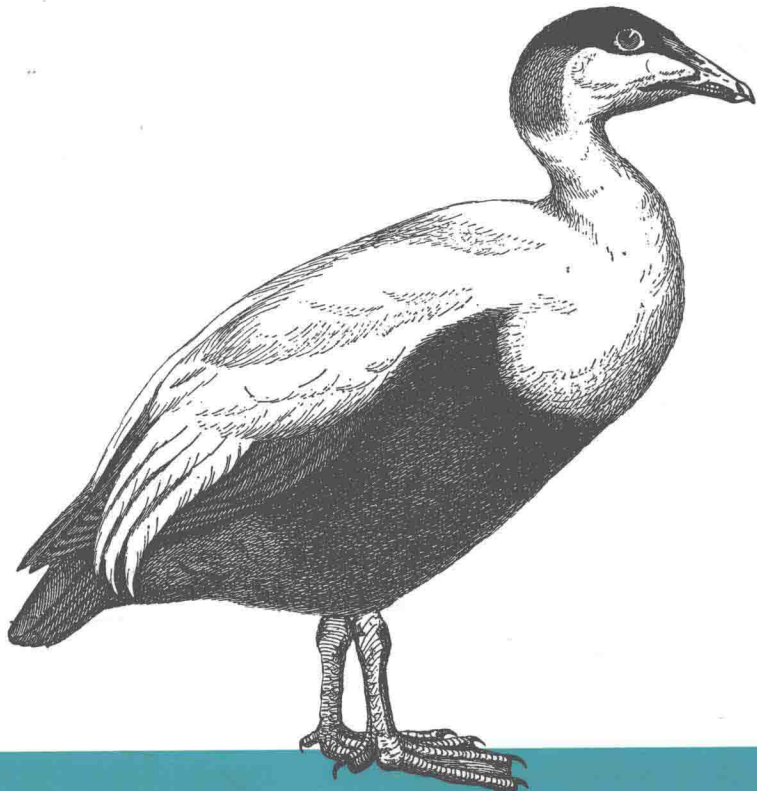
Functional JavaScript



JavaScript 函数式编程

[美] *Michael Fogus* 著
欧阳继超 王妮 译

O'REILLY®
中国工信出版集团
人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

JavaScript函数式编程

该如何克服JavaScript奇怪而不安全的一些特性呢？通过阅读本书，你将学会如何编写优雅、安全、易读、易测试的函数式JavaScript代码。本书展示了如何通过JavaScript函数式工具库Underscore.js来应用函数式的思想。

如果你是想学习函数式编程技术的JavaScript程序员，或者是想学习JavaScript的函数式程序员，这本书是你理想的读物。

GitHub上有本书所有的示例代码*https://github.com/funjs/book-source*。

- 使用一等函数及applicative编程技术；
- 了解并利用变量作用域和闭包；
- 探究高阶函数，并介绍高阶函数以其他函数作为参数的好处；
- 探索使用已有函数组合新函数的方式；
- 绕过JavaScript的局限使用递归函数；
- 减少、隐藏或者消除程序中的状态；
- 使用函数式管道实战基于流的编程；
- 探索如何不用类编程。

Michael Fogus是Dynamic Animation Systems的软件架构师，在分布式仿真、机器视觉和专家系统建设方面经验丰富。他是Clojure、ClojureScript以及Underscore-contrib的贡献者，还是《Clojure编程乐趣》的作者。

“Michael Fogus对函数式JavaScript编程做了详细、实用的介绍。用简明、优雅及强健的实例以及与Underscore的搭配阐述了函数式编程的概念。”

——Dean Wampler博士

“我觉得本书可改名为JavaScript: The Best Parts。将函数式的概念应用到JavaScript，这会改变用这门语言解决问题的思路。”

——Rob Friesel
Dealer.com资深用户
体验设计师

O'REILLY®
oreilly.com.cn

封面设计：Karen Montgomery，张健

O'Reilly Media, Inc.授权人民邮电出版社出版

此简体中文版仅限于中国大陆（不包含中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区）销售发行
This Authorized Edition for sale only in the territory of People's Republic of China (excluding Hong Kong, Macao and Taiwan)

分类建议：计算机/程序设计/JavaScript
人民邮电出版社网址：www.ptpress.com.cn

ISBN 978-7-115-39060-8

ISBN 978-7-115-39060-8
定价:49.00 元

O'REILLY®

JavaScript 函数式编程

[美] Michael Fogus 著

欧阳继超 王 妮 译

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目（CIP）数据

JavaScript函数式编程 /（美）佛格斯（Fogus, M.）著 ；欧阳继超，王妮译. -- 北京 ：人民邮电出版社，2015.8
ISBN 978-7-115-39060-8

Ⅰ. ①J… Ⅱ. ①佛… ②欧… ③王… Ⅲ. ①JAVA语言－程序设计 Ⅳ. ①TP312

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第125259号

版权声明

LED/OLED 技术与应用丛书

◆ 著　[美] Michael Fogus
译　欧阳继超　王　妮
责任编辑　陈冀康
责任印制　张佳莹　焦志炜

◆ 人民邮电出版社出版发行　北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编　100164　电子邮件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
三河市海波印务有限公司印刷

◆ 开本：787×1000　1/16
印张：14
字数：258 千字　2015 年 8 月第 1 版
印数：1-3 000 册　2015 年 8 月河北第 1 次印刷

著作权合同登记号　图字：01-2013-7657 号

定价：49.00 元

读者服务热线：(010)81055410　印装质量热线：(010)81055316
反盗版热线：(010)81055315

内容提要

JavaScript 是近年来非常受瞩目的一门编程语言，它既支持面向对象编程，也支持函数式编程。本书专门介绍 JavaScript 函数式编程的特性。

全书共 9 章，分别介绍了 JavaScript 函数式编程、一等函数与 Applicative 编程、变量的作用域和闭包、高阶函数、由函数构建函数、递归、纯度和不变性以及更改政策、基于流的编程、无类编程。除此之外，附录中还介绍了其他和 JavaScript 函数式编程相关的知识。

本书内容全面，示例丰富，适合想要了解函数式编程的 JavaScript 程序员和学习 JavaScript 的函数式程序员阅读。

O'Reilly Media, Inc.介绍

O'Reilly Media 通过图书、杂志、在线服务、调查研究和会议等方式传播创新知识。自 1978 年开始，O'Reilly 一直都是前沿发展的见证者和推动者。超级极客们正在开创着未来，而我们关注真正重要的技术趋势——通过放大那些“细微的信号”来刺激社会对新科技的应用。作为技术社区中活跃的参与者，O'Reilly 的发展充满了对创新的倡导、创造和发扬光大。

O'Reilly 为软件开发人员带来革命性的“动物书”；创建第一个商业网站（GNN）；组织了影响深远的开放源代码峰会，以至于开源软件运动以此命名；创立了 Make 杂志，从而成为 DIY 革命的主要先锋；公司一如既往地通过多种形式缔结信息与人的纽带。O'Reilly 的会议和峰会集聚了众多超级极客和高瞻远瞩的商业领袖，共同描绘出开创新产业的革命性思想。作为技术人士获取信息的选择，O'Reilly 现在还将先锋专家的知识传递给普通的计算机用户。无论是通过书籍出版，在线服务或者面授课程，每一项 O'Reilly 的产品都反映了公司不可动摇的理念——信息是激发创新的力量。

业界评论

“O'Reilly Radar 博客有口皆碑。” —— Wired

“O'Reilly 凭借一系列（真希望当初我也想到了）非凡想法建立了数百万美元的业务。” —— Business 2.0

“O'Reilly Conference 是聚集关键思想领袖的绝对典范。” —— CRN

“一本 O'Reilly 的书就代表一个有用、有前途、需要学习的主题。”

—— Irish Times

“Tim 是位特立独行的商人，他不光放眼于最长远、最广阔的视野并且切实地按照 Yogi Berra 的建议去做了：‘如果你在路上遇到岔路口，走小路（岔路）。’回顾过去 Tim 似乎每一次都选择了小路，而且有几次都是一闪即逝的机会，尽管大路也不错。”

—— Linux Journal

序一

这是一本令人兴奋的书。

尽管开始是想作为嵌入 HTML 文档中的精简版 Java（Java-lite）的脚本语言，由此可以进行一点交互，但 JavaScript 却成为通用编程最灵活的语言之一。

你可以随意根据最适合你的特定方式来写 JavaScript。在 JavaScript 中这样做比其他更刚性的语言更自然，究其原因，是支撑 JavaScript 的核心理念：更大程度上比面向对象语言如 Ruby 和 Java 扩展了一切都是对象（一切都是一个值）的理念。函数既是对象，也是值。任何对象都可以作为其他对象的原型（默认值）。函数只有一种，你可以随意使用它，可以作为一个纯函数、一个突变过程，或作为一个对象的方法。

JavaScript 可以但不会强制使用不同的编程风格。早期，我们倾向于把传统期望和“最佳”实践套用到 JavaScript 的学习中。当然，这会使得 JavaScript 很像没有类型的 Java，或是将类型写到每个方法上面的注释里面。渐渐地，有人开始实验：在运行时生成函数，使用不可变的数据结构，创建不同于面向对象的设计模式，发现链式 API 的魔力，或是扩展内置原型来得到定制化的功能。

我最近特别热衷于使用函数式思路构建丰富的 JavaScript 应用。随着 JavaScript 从简单的表单验证和 DOM 动画到全功能的应用程序，JavaScript 开始面临着各种特定问题，函数式也有了更有趣的舞台，如下所示。

- 通过可部分配置参数的函数构建大量 API。
- 使用递归函数来平滑需要一段时间的事件。
- 使用无突变（mutation-free）的随意替换的管道构建复杂的业务逻辑。

本书正是探索这片领域的理想书籍。在书中的 9 章和附录里，友好的导游和疯狂的科学家 Michael Fogus，将函数式编程层层剥开，让你一探究竟。一般很少有编程书籍能带给读者惊喜，但是这一本绝对可以。

好好享受吧！

Jeremy Ashkenas

序二

我还记得当我第一次读到 Douglas Crockford 的《JavaScript 精粹》时，我不仅从中学到了东西，而且 Crockford 只用了 172 页，就能带领读者避开 JavaScript 的各种问题，实在令人印象深刻。Crockford 的书既简洁，又能让读者充分消化并从中受益。

接下来，你会发现，Michael Fogus 给了我们一本类似 Crockford 的书。他吸收了 Crockford 以及其他前辈的中肯的意见，带我们深入函数式 JavaScript 编程的世界。我经常听说或看到（甚至我自己也会写到），JavaScript 是一种函数式编程语言，但这种说法（包括我自己）都似乎难以领会。甚至 Crockford 也只用了一章阐述函数，像许多作家一样，都集中于 JavaScript 的对象支持。Fogus 填补了这些重要的细节。

函数式编程从一开始就是计算机领域的重要的一部分，但它一直没有受到实践软件人员的广泛关注。但由于计算硬件速度和容量的不断提高，再加上我们的行业在创造并发、分布和大规模软件系统的需求不断扩大，函数式编程正迅速地普及。能获得这样的增长是因为对于开发者来说，函数式更容易推理、构建和维护。对函数式编程语言，如 Scala、Clojure 中，Erlang 和 Haskell 的关注也达到了历史新高，并仍在增加，至今仍不见削减。

当你读完 Michael 具有深刻见解的 JavaScript 的函数式编程，你会对他所提供的信息的深度和广度留下深刻的印象。他首先会让事情保持简单，解释如何避免使用 JavaScript 功能强大的对象原型系统，而使用函数和“数据抽象”来建模类的方式。在之后的章节中，解释了函数式数据转换的简单模型可以产生复杂而高效的更高层次的抽象。我猜你会随着 Fogus 的每个章节对这种方式的层次深入感到惊讶。

大部分软件开发工作需要实用主义，好在 Fogus 也强调了这一项。如果不实用，就算有优雅、精致和简洁的代码，最终都是毫无意义的。这也是函数式编程隐藏在阴影中这么多年的很大一部分原因。Fogus 通过帮助读者了解和评估与函数式编程相关的计算成本来解决这一问题。

当然，书就像软件，都少不了沟通。就像 Crockford 和 Fogus 的写作方式，既简短，又内容翔实，恰到好处。我没有夸大 Michael 的简洁和清晰的重要性，不然你会失

去他所提供的令人难以置信的想法和见解的。你会发现，不仅 Fogus 所提供的方法和代码优雅，他表达的方式也一样优雅。

Steve Vinoski

前言

什么是 Underscore

Underscore.js（以下简称 Underscore）是支持函数式编程的 JavaScript 库。Underscore 网站是这样描述的：

> Underscore 为 JavaScript 提供了大量的函数式编程的支持，类似 Prototype.js（或 Ruby）的 utility-belt，但没有扩展 JavaScript 内置对象。

“utility belt”指的是一套能帮助你解决很多常见问题的工具。

获取 Underscore

Underscore 网站上有最新的版本。你可以从网站上下载并放入应用目录。

使用 Underscore

你可以像使用所有其他库一样在你的项目中使用 Underscore。然而，有几点需要注意的是，首先，默认情况下，Underscore 定义了一个包含其所有函数的全局对象。要调用一个 Underscore 的函数，只需要调用“_”里的方法，如下面的代码：

```
_.times(4, function() { console.log("Major") });

// (console) Major
// (console) Major
// (console) Major
// (console) Major
```

很简单吧？

但如果你已经定义一个全局_变量，事情就没这么简单了。在这种情况下，Underscore 提供了一个`_.noConflict`函数，将重新绑定旧的_，并返回 Underscore 的引用。`_.noConflict`使用方式如下：

```
var underscore = _.noConflict();

underscore.times(4, function() { console.log("Major") });

// (console) Major
```

```
// (console) Major
// (console) Major
// (console) Major

_;
//=> Whatever you originally bound _ to
```

本书会介绍更多 Underscore 的细节，但记住，虽然我广泛使用（并认可）Underscore，但这并不是一本关于 Underscore 的书。

函数式 JavaScript 的源代码

许多年前，我想写基于函数式编程技术的 JavaScript 库。跟许多程序员一样，我曾通过实验、实践以及阅读 Douglas Crockford 的文章对 JavaScript 有所认识。虽然我继续完成了我的函数式库（Doris），但甚至连我自己都很少用它。

完成 Doris 后，我继续尝试广泛的函数式编程语言如 Scala 和 Clojure。此外，我花了很多时间编写 ClojureScript，特别是它的 JavaScript 编译器。基于这些经验，我非常了解函数式编程技术。因此，我决定尝试使用随后这几年学到的技术复活 Doris。我将其命名为 Lemonad，最后几乎是与本书同时完成的。

本书中大多数函数都是为了教学目的，但我扩展了一些并贡献到我的 Lemonad 库，以及 Underscore-contrib 库。

本书中的代码

本书的源代码可以在 GitHub 上获取。此外，你也可以进入本书的网址使用上面的 REPL 试试本书所有定义的函数。

符号约定

在编写本书（和一般编写 JavaScript）的过程中，我得出以下比较好的约定。

- 避免多次赋值变量。
- 不要使用 `eval`[①]。
- 不要修改内核对象如 `Array` 和 `Function`。
- 优先使用函数而不是方法。

① 跟所有强大的工具一样，eval 和 Function 常量都是双刃剑，我并不反对使用，但是建议尽可能少用。

- 如果项目一开始就定义函数，那么在接下来的阶段里也应该如此。

此外，我在本书中还用到了一些约定。

- 零参数的函数用于表示该参数并不重要。
- 在一些例子中，……用来表示其周围的代码段可忽略。
- `inst#method` 表示实例方法引用。
- `Object.method` 表示类型方法。
- 我倾向于用单行 `if/else` 语句，避免使用大括号。这样可以节省宝贵的垂直空间。
- 我喜欢用分号。

基本上除了函数式方面，这本书中的 JavaScript 代码就像现实中的大多数的 JavaScript 代码。

本书目标读者

我在几年前写一本 Scheme 编程语言的函数式编程的入门书籍的时候，就产生了写这本书的想法。尽管 Scheme 和 JavaScript 有一些共同的特点，但在许多重要方面截然不同。我想撇开语言来说说函数式编程。我写这本书介绍函数式编程是什么，什么是不可能在 JavaScript 中找到的。

我期望读者对 JavaScript 有基本的理解。可以通过很多书籍以及网上的资源和讨论来学习这门语言，这里就不占用本书篇幅介绍了。我还期望读者能对面向对象编程有所了解，如 Java 和 Ruby，Python 和 JavaScript。了解面向对象编程可以帮助你理解我偶尔使用的一些短语，但并不需要专家级的了解。

本书的合适读者是希望了解函数式编程的 JavaScript 程序员，或希望学习 JavaScript 的函数式程序员。对于后一种读者，还可以研究一些 JavaScript 的……古怪的部分，特别是可以参考 Douglas Crockford 的《JavaScript 精粹》（O'Reilly 出版）。最后，这本书还适合任何希望了解函数式编程，包括不打算使用 JavaScript 的读者。

本书组织结构

下面是 JavaScript 函数式编程的大纲。

第 1 章　JavaScript 函数式编程简介

这本书通过引入一些主题来开始，包括函数式编程和 Underscore.js。

第 2 章　一等函数与 Applicative 编程

第 2 章定义了一等函数，展示如何使用它们，并介绍了一些常见的应用。其中介绍了一个特别的技术，即利用一等函数实现 Applicative 编程。本章结尾还对软件开发中函数式编程的重要途径，即“数据思想”进行了探讨。

第 3 章　变量的作用域和闭包

第 3 章是一个过渡章，涵盖要了解函数式 JavaScript 编程需要注意的两个核心主题。通过覆盖变量作用域，包括在 JavaScript 中使用的方式：词法作用域，动态作用域和函数作用域。本章以闭包的介绍结尾，解释了工作原理，以及如何和为什么可能需要使用闭包。

第 4 章　高阶函数

本章建立在第 2、3 章基础上，介绍了一个重要的一等函数：高阶函数。虽然“高阶函数”听起来很复杂，本章会说明它其实是很直白的。

第 5 章　由函数构建函数

本章介绍了如何用其他函数“组合”新函数。组合函数是函数式编程的重要技术，本章将引导你了解这项技术。

第 6 章　递归

第 6 章是另一个过渡章节，将讨论递归，即一个直接或间接调用自身的函数。因为递归在 JavaScript 中是有局限的，因此不被经常使用；但是，本章会介绍几个绕过这些局限的方法。

第 7 章　纯度、不变性和更改政策

第 7 章介绍如何编写不会改变任何东西的函数。简单地说，函数式编程的便利性来源于不可变变量。本章将带你理解其中的含义。

第 8 章　基于流的编程

第 8 章涉及如何将任务甚至是整个系统，看作变换数据的“装配线”。

第 9 章　无类编程

最后一章的重点是介绍函数式编程是完全不同于基于类的面向对象编程的结构化应用程序的方式。

在这些章节之后补充了附录 A。

本书使用的约定

本书使用以下字体排版约定。

斜体

表示新的术语、网址、电子邮件地址、文件名和文件扩展名。

等宽字体

用于程序代码清单，出现在段落之内则表示程序中的元素，如变量、函数名、数据库、数据类型、环境变量、程序语句和关键字。

等宽加粗体

显示命令或其他应当由用户键入的文本。

等宽斜体

表示该文本应当更换为用户提供的值或者由上下文所决定的值。

示例代码的使用

本书的目的是为了帮助你完成工作任务。在一般情况下，这本书中包括的代码示例，你可以将其应用到你的程序和文档中。除非需要复制这些示例代码的相当大部分，否则无需联系我们以获得许可。比如说，当你编写的程序用到了本书中的若干示例代码，这并不需要特别许可。但是，销售或分发含有 O'Reilly 书籍附带的示例程序的光盘则需要获得许可。当你在回答他人问题时援引本书内容，或者引用书中的范例代码，也不用申请许可；而如果要把本书中的代码大量地引用到你的产品文档中，则需要许可。

对于引用时署名本书，我们表示感谢，但并不要求。一个署名通常包括标题、作者、出版商和 ISBN，例如“Functional JavaScript Michael Fogus（O'Reilly 出版）。版权所有 2013 Michael · Fogus，978-1-449-36072-6”。

如果你觉得你使用示例代码的情况超出了以上描述的不需要许可的范围，请随时联系我们：permissions@oreilly.com。

Safari®在线图书

记录

Safari 在线图书（www.safaribooksonline.com）是一个虚拟图书馆，让你可以轻松搜寻成千上万的顶尖技术书籍。

科技人才，软件开发者，网页设计师，以及商业和创意专业人士都将 Safari 在线图书作为研究、解决问题、学习和认证培训的主要资源。

Safari 的联机丛书提供了一系列的产品并为组织、政府机构和个人提供不同定价。用户可以访问和搜索出版社 O'Reilly Media, Prentice Hall Professional, Addison-Wesley Professional, Microsoft Press, Sams, Que, Peachpit Press, Focal Press, Cisco Press, John Wiley & Sons, Syngress, Morgan Kaufmann, IBM Redbooks, Packt, Adobe Press, FT Press, Apress, Manning, New Riders, McGraw-Hill, Jones & Bartlett, Course Technology 等的数字内容。有关 Safari 在线图书的更多信息，请访问我们的在线网站。

如何联系我们

请将对本书的有关意见和问题告知出版商：

美国：
O'Reilly Media，Inc.
1005 Gravenstein Highway North
Sebastopol，CA 95472
中国：

北京市西城区西直门南大街 2 号成铭大厦 C 座 807 室（100035）

奥莱利技术咨询（北京）有限公司

我们为这本书制作了网页，其中包含了勘误表、范例，以及其他补充资料。你可以通过这个地址访问：http://oreilly/functional_js。

请发送电子邮件至 bookquestions@oreilly.com 发表评论或询问关于本书的技术问题。

更多关于这本书、课程、会议和新闻的信息，查看下面的网站：http://www.oreilly.com。

我们的 Facebook 网站：http://facebook.com/oreilly。

在 Twitter 上 follow 我们：http://twitter.com/oreillymedia。

YouTube 上的频道：http://www.youtube.com/oreillymedia。

致谢

写一本书需要各方面的支持和努力，本书也不例外。首先，我要感谢我的好朋友 Rob Friesel 抽出时间提供反馈意见。此外，我要感谢 Jeremy Ashkenas 把我介绍给 O'Reilly，能让本书得以出版。而且是他写了非同小可的 Underscore.js 库。

我还要感谢这些人给我的反馈和启发：Chris Houser、David Nolen、Stuart Halloway、Tim Ewald、Russ Olsen、Alan Kay、Peter Seibel、Sam Aaron、Brenton Ashworth、Craig Andera、Lynn Grogan、Matthew Flatt、Brian McKenna、Bodil Stokke、Oleg Kiselyov、Dave Herman、Mashaaricda Barmajada ee Mahmud、Patrick Logan、Alan Dipert、Alex Redington、Justin Gehtland、Carin Meier、Phil Bagwell、Steve Vinoski、Reginald Braithwaite、Daniel Friedman、Jamie Kite、William Byrd、Larry Albright、Michael Nygard、Sacha Chua、Daniel Spiewak、Christophe Grand、Sam Aaron、Meikel Brandmeyer、Dean Wampler、Clinton Dreisbach、Matthew Podwysocki、Steve Yegge、David Liebke、Rich Hickey。

我编写本书时的配乐由 Pantha du Prince、Black Ace、Brian Eno、Béla Bartók、Dieter Moebius、Sun Ra、Broadcast、Scientist、John Coltrane 提供。

最后，所有这一切都要感谢我生命中的三位挚爱：Keita、Shota、Yuki。

目录

第 1 章 JavaScript 函数式编程简介 …… 1
1.1 JavaScript 案例 …… 1
1.2 开始函数式编程 …… 4
1.2.1 为什么函数式编程很重要 …… 4
1.2.2 以函数为抽象单元 …… 7
1.2.3 封装和隐藏 …… 9
1.2.4 以函数为行为单位 …… 10
1.2.5 数据抽象 …… 14
1.2.6 函数式 JavaScript 初试 …… 17
1.2.7 加速 …… 19
1.3 Underscore 示例 …… 22
1.4 总结 …… 23
第 2 章 一等函数与 Applicative 编程 …… 24
2.1 函数是一等公民 …… 24
2.2 Applicative 编程 …… 30
2.2.1 集合中心编程 …… 31
2.2.2 Applicative 编程的其他实例 …… 32
2.2.3 定义几个 Applicative 函数 …… 35
2.3 数据思考 …… 36
2.4 总结 …… 43
第 3 章 变量的作用域和闭包 …… 44
3.1 全局作用域 …… 44
3.2 词法作用域 …… 46
3.3 动态作用域 …… 47
3.4 函数作用域 …… 51
3.5 闭包 …… 52
3.5.1 模拟闭包 …… 53
3.5.2 使用闭包 …… 57
3.5.3 闭包的抽象 …… 59
3.6 总结 …… 60

第 4 章　高阶函数……62
4.1　以其他函数为参数的函数……62
4.1.1　关于传递函数的思考：max、finder 和 best……63
4.1.2　关于传递函数的更多思考：重复、反复和条件迭代（iterateUntil）……65
4.2　返回其他函数的函数……67
4.2.1　高阶函数捕获参数……69
4.2.2　捕获变量的好处……69
4.2.3　防止不存在的函数：fnull……72
4.3　整合：对象校验器……74
4.4　总结……77
第 5 章　由函数构建函数……78
5.1　函数式组合的精华……78
5.2　柯里化（Currying）……83
5.2.1　向右柯里化，还是向左……84
5.2.2　自动柯里化参数……85
5.2.3　柯里化流利的 API……88
5.2.4　JavaScript 柯里化的缺点……89
5.3　部分应用……89
5.3.1　部分应用一个和两个已知的参数……91
5.3.2　部分应用任意数量的参数……92
5.3.3　局部应用实战：前置条件……93
5.4　通过组合端至端的拼接函数……96
5.5　总结……98
第 6 章　递归……100
6.1　自吸收（self-absorbed）函数（调用自己的函数）……100
6.1.1　用递归遍历图……105
6.1.2　深度优先自递归搜索……106
6.1.3　递归和组合函数：Conjoin 和 Disjoin……108
6.2　相互关联函数（函数调用其他会再调用回它的函数）……110
6.2.1　使用递归深克隆……111
6.2.2　遍历嵌套数组……112
6.3　太多递归了……114
6.3.1　生成器……117
6.3.2　蹦床原理以及回调……120

6.4 递归是一个底层操作 121
6.5 总结 122
第 7 章 纯度、不变性和更改政策 123
7.1 纯度 123
7.1.1 纯度和测试之间的关系 124
7.1.2 提取纯函数 125
7.1.3 测试不纯函数的属性 126
7.1.4 纯度与引用透明度的关系 127
7.1.5 纯度和幂等性 129
7.2 不变性 130
7.2.1 如果一棵树倒在树林里，有没有声音 132
7.2.2 不变性与递归 133
7.2.3 冻结和克隆 134
7.2.4 在函数级别上观察不变性 136
7.2.5 观察对象的不变性 137
7.2.6 对象往往是一个低级别的操作 140
7.3 控制变化的政策 141
7.4 总结 144
第 8 章 基于流的编程 145
8.1 链接 145
8.1.1 惰性链 148
8.1.2 Promises 152
8.2 管道 154
8.3 数据流与控制流 158
8.3.1 找个一般的形状 161
8.3.2 函数可以简化创建 action 164
8.4 总结 166
第 9 章 无类编程 167
9.1 数据导向 167
9.2 Mixins 173
9.2.1 修改核心原型 175
9.2.2 类层次结构 176
9.2.3 改变层级结构 179
9.2.4 用 Mixin 扁平化层级结构 180
9.2.5 通过 Mixin 扩展新的语义 185

9.2.6 通过 Mixin 混合出新的类型 ……187
9.2.7 方法是低级别操作 ……188
9.3 }).call("Finis"); ……190
附录 A 更多函数式 JavaScript ……191
A.1 JavaScript 的函数式库 ……191
A.1.1 Functional JavaScript ……191
A.1.2 Underscore-contrib ……192
A.1.3 RxJS ……192
A.1.4 Bilby ……194
A.1.5 allong.es ……195
A.1.6 其他函数式库 ……196
A.2 能编译成 JavaScript 的函数式语言 ……196
A.2.1 ClojureScript ……196
A.2.2 CoffeeScript ……197
A.2.3 Roy ……198
A.2.4 Elm ……198
附录 B 推荐书目 ……201

第 1 章

JavaScript 函数式编程简介

本章是本书后续内容的基础。本章将介绍什么是 Underscore 以及如何开始使用它；除此之外，也将对后续用到的术语和本书的目标进行解释。

1.1 JavaScript 案例

“为什么选择 JavaScript”，这个问题的答案很简单：灵活。换句话说，或许除了 Java，目前没有比 JavaScript 更加流行的语言了。所有浏览器以及现有新兴技术的大范围支持，使得 JavaScript 成了满足可移植性的不错的选择，甚至是唯一的选择。

随着客户端服务和单页布局应用架构的再度出现，JavaScript 越来越广泛地应用于附加在大量网络服务中的分离式应用当中（如单页布局）。比如所有的谷歌应用程序都由 JavaScript 编写，这也是单页布局应用的范例。

如果在学习 JavaScript 之前，你已对函数式编程有所研究，那么好消息是 JavaScript “天然”支持函数式技术（例如，函数是 JavaScript 的一个核心概念）。举个例子，如果你对 JavaScript 有所了解，那么应该见过下面的代码：

```
[1, 2, 3].forEach(alert);
// alert box with "1" pops up
// alert box with "2" pops up
// alert box with "3" pops up
```

Array#forEach 方法于 ECMA-262 语言标准第 5 版加入，它接收一个函数（本例中的 alert）并将数组中的每一个元素依次交给该函数执行。除此之外，JavaScript 提供大量的能够以其他函数为参数的方法和函数。在本书的后续内容中，我将进一步以此类编程风格进行讨论。

JavaScript 有坚实的语言原语基础，这是非常好的事情，但同时也是一把双刃剑。从函数、闭包、原型，到相当不错的动态核心，JavaScript 提供了一系列非常好的工具集[①]。此外，JavaScript 也提供了一种非常开放和灵活的执行模型。举一个小例子：所有的 JavaScript 函数都有一个 apply 方法，它使得我们可以用一个数组来调用函数，其中，数组的元素作为函数的参数。使用 apply，我们可以创建一个名为 splat 的函数。它接受一个函数 fun，并返回另一个函数，该函数接受一个数组并用 apply 来执行函数 fun。这样一来，传入函数 splat 的数组的元素是函数 fun 的参数：

```
function splat(fun) {
  return function(array) {
    return fun.apply(null, array);
  };
}

var addArrayElements = splat(function(x, y) { return x + y });

addArrayElements([1, 2]);
//=> 3
```

这是我们的函数式编程初试——一个返回函数的函数——我们待会再来仔细研究。需要注意的是，JavaScript 是一种非常灵活的语言，apply 仅仅只是它实现函数式编程的一种方法而已。

另外一个展现 JavaScript 灵活性的地方是，我们可以随时以任意多个任意类型的参数来调用任意一个函数。我们可以创建一个与 splat 功能相反的函数 unsplat，它接受一个函数 fun 并返回另一个接受任意多个参数的函数，将参数转为数组传入函数 fun 并调用它：

```
function unsplat(fun) {
  return function() {
    return fun.call(null, _.toArray(arguments));
  };
}

var joinElements = unsplat(function(array) { return array.join(' ') });

joinElements(1, 2);
//=> "1 2"

joinElements('-', '$', '/', '!', ':');
//=> "- $ / ! :"
```

每个 JavaScript 函数都可以访问一个名为 arguments 的局部对象，它以类似于数组

① 与所有的工具一样，如果你不小心，还是可能切到或粉碎你的拇指。

的形式存储了调用本函数时的实际参数。arguments 非常强大，并能够产生惊人的效果。另外，call 方法与 apply 方法类似，只不过 apply 方法将参数放到数组中来调用函数，而 call 方法则是直接将参数逐一传递给函数。Apply、call 和 arguments 的同时存在只是 JavaScript 强大灵活性的一个小例子。

随着用 JavaScript 来创建各种规模应用的趋势，你可能会担心该语言本身发展及其运行时支持会停滞不前。但是随意阅读一下 ECMAScript.next 就可以发现，JavaScript 是一种不断发展（尽管速度缓慢）的语言[①]。同样，会不断有像 V8 引擎那样经得起时间考验的新兴技术来改进和提升 JavaScript 的速度和效率。

JavaScript 的一些局限

从 JavaScript 的出现、演变、发展到普遍存在的角度来讲，JavaScript 的局限性很小。很多人会诟病 JavaScript 的种种奇怪用法和鲁棒性缺陷，但事实上，JavaScript 确实存活了下来，并且将会一直存在下去。但无论如何，我们需要承认 JavaScript 是一门存在缺陷的语言[②]。事实上，目前最流行的介绍 JavaScript 的书：Douglas Crockford 的 *JavaScript: The Good Parts*（O'Reilly 出版），花了大量的篇幅来讨论 JavaScript 的不好的部分。这门语言确实有古怪之处，而且总体来说在表达方面也不是很简洁。然而，修复 JavaScript 中存在的问题恐怕会“破坏网络世界”，这恐怕也是不能被大众所接受的。也正是因为这些问题的存在，针对于 JavaScript 的编译平台不断增多；这确实是一片非常多产的领域[③]。

从语言支持角度来讲，经过时间的选择，我们发现命令式语言技术和对全局作用域的依赖使得 JavaScript 存在不安全性。这是因为，若在创建程序时将关键点放在处理易变性上，会给程序扩展带来潜在的混乱。同样，这门语言也提供了很多可用来实现其他语言中默认存在的高级功能的方法。如在主要版本的 ECMAScript 6 之前，JavaScript 没有提供模块系统，但其实可用原生对象来简便地创建模块。这个版本的 JavaScript 提供了一系列松散的、互不兼容的基本部分集合，可以用来保证一系列自定义模块的实现。

古怪的语言、不安全的功能以及一系列互相竞争的库，这三个理由使得我们很难考虑选择 JavaScript。然而，希望还是有的。利用一系列的规范和规约，JavaScript 代码可以做到不仅安全，而且容易理解和测试，除此之外，也能够成比例缩减代码库大小。本书将带你掌握这样的方法：函数式编程。

---

① 可以在 http://wiki.ecmascript.org/doku.php?id=harmony:specification_drafts 查看 ES.next 的草案。
② 值得讨论的是缺陷有多严重。
③ 一些能编译成 JavaScript 的语言有 ClojureScript, CoffeeScript, Roy, Elm, TypeScript, Dart, Flapjax, Java。

1.2 开始函数式编程

或许你已经从最喜欢的新闻聚合网站上听说过函数式编程，也可能你已使用过支持函数式编程的技术。如果你写过 JavaScript 代码（在本书中，我们默认读者写过），那么你确实已使用过支持函数式编程的语言。然而，有种情况是，你可能没有从函数式编程的角度使用过 JavaScript。本书突出了函数式编程风格，它可以帮助我们简化自己的库和应用程序，并帮助我们驯服那只使得 JavaScript 变得复杂的“野兽”。

我们可以用下面一句话来直白地描述函数式编程：

> 函数式编程通过使用函数来将值转换成抽象单元，接着用于构建软件系统。

这是一种简单粗糙的解释，但对于本书的前面部分来说已够用。本书使用 Underscore 作为库来实现函数式表达式，并且大部分内容也都遵循上面的定义。然而，这个定义并没有解释清楚“为什么”使用函数式编程。

1.2.1 为什么函数式编程很重要

> 对我来说，重大演变还是向更加函数式的风格的发展，它使得我们放弃很多旧的习惯，并从一些面向对象思想中逐渐退出。
>
> ——John Carmack

如果你熟悉面向对象编程，那么你可能会同意它的主要目标是问题分解，如图 1-1 所示（Gamma，1995）。

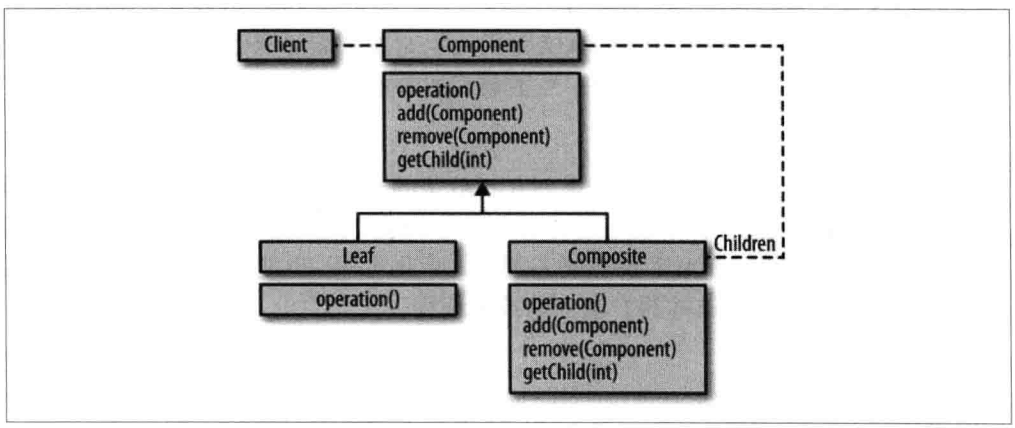


图 1-1 将一个问题分解为面向对象的几个部件

同样，如图 1-2 所示，这些部件/对象可以被聚集在一起，并组合成更大的部件。

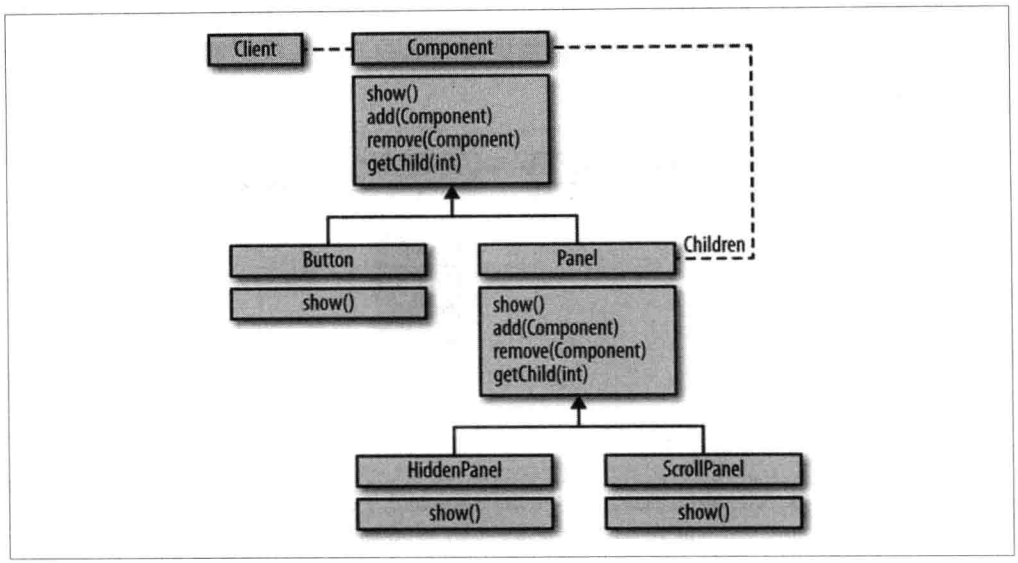


图 1-2　对象“组合”在一起形成更大的对象

基于这些部件和它们之间的组合关系，我们就可以从部件之间的交互和值来描述一个系统，如图 1-3 所示。

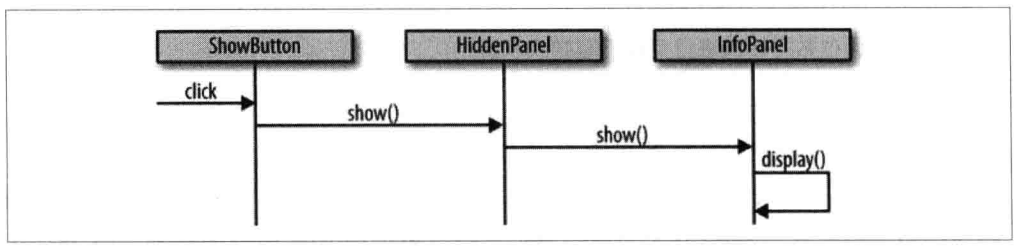


图 1-3　一个描述面向对象系统及其交互的序列图

这里只对如何构建面向对象系统进行了简单粗糙的解释，但这种抽象的解释已经能够说明问题。

相比较而言，用严格的函数式编程的方法来解决问题，也会将一个问题分成几部分（函数）来解决，如图 1-4 所示。

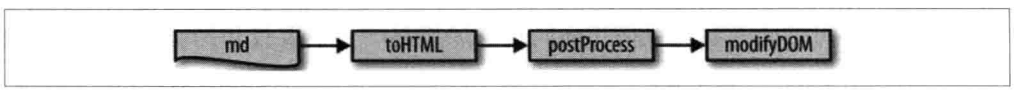


图 1-4　将一个问题分解成几个函数式的部分

与面向对象方法将问题分解成多组“名词”或对象不同，函数式方法将相同的问题分解成多组“动词”或函数[①]。与面向对象编程类似的是，函数式编程也通过“黏结”或“组合”其他函数的方式来构建更大的函数，以实现更加抽象的行为，如图 1-5 所示。

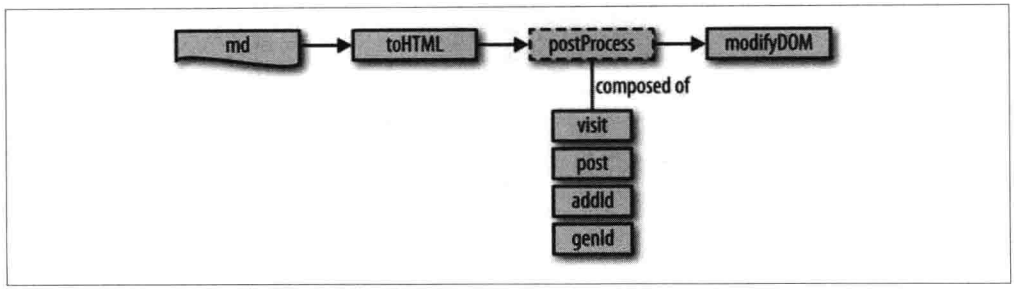


图 1-5　通过函数组合来实现更多的行为

最终，一种将函数式的部件组成一个完整的系统的方法（见图 1-6）是取一个值，逐渐地将它“改变”——通过一个原始的或组合的函数——成另一个值。

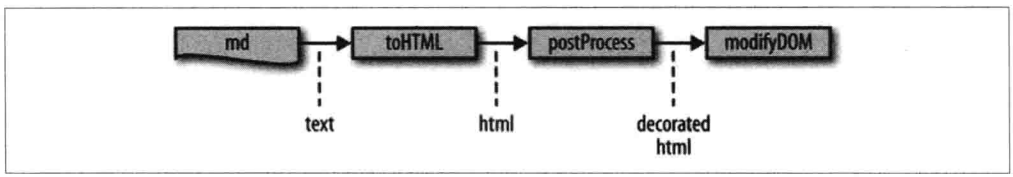


图 1-6　一个通过数据转换进行交互的函数式系统

在一个面向对象系统的内部，我们发现对象间的交互会引起各个对象内部状态的变化，而整个系统的状态转变则是由许许多多小的、细微的状态变化混合来形成的。这些相互关联的状态变化形成了一个概念上的“变化网”，我们时不时会因为它而感到困惑。当需要了解其带来的微妙且广泛的状态变化时，这种困惑就会成为一个问题。

相比之下，函数式系统则努力减少可见的状态修改。因此，向一个遵循函数式原则的系统添加新功能就成了理解如何在存在局限的上下文环境中——无破坏性的数据转换（例如原始数据永不发生变化）——来实现新的函数。然而，我并不愿意在函数式风格和面向对象风格之间画一条明显的界线，说它们应该是对立关系。因为既然 JavaScript 同时支持这两种模式，那就说明一个系统可以也应该由这两种模式共同组成。如何平衡函数式风格和面向对象风格是一件需要技巧的事情，我们将会

① 这种思路比较容易从面向对象转换到函数式编程上，而且我将在接下来的书中混合这两种思路。

在第 9 章讨论 mixin 时解答这个问题。然而，既然本书是在介绍函数式编程在 JavaScript 中实现，那么我们将会将大量篇幅放在函数式风格而非面向对象风格上。

这样说来，一个美好的基于函数式原则而构建的系统将是一个能够从输入终端接收未加工原料并逐渐从输出终端生产出产品的装配线设备（见图 1-7）。

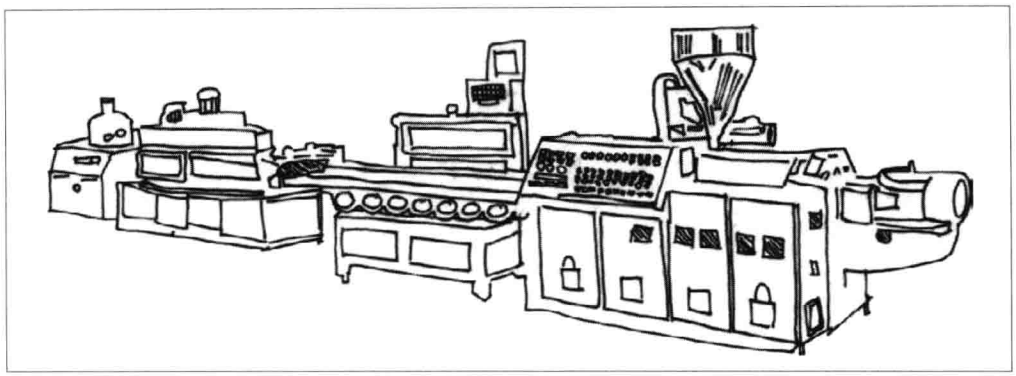


图 1-7　函数式程序类似于一个用来转换数据的机器

当然，这种装配线的类比并不完全准确，因为我们知道每个机器生产产品都需要消耗加工原料。相比之下，函数式编程以命令式的方式构建系统，并通过将显性的状态改变缩减到最小来变得更加模块化（Hughes，1984）。实践中的函数式编程并不以消除状态改变为主要目的，而是将任何已知系统中突变的出现尽量压缩到最小区域中去。

1.2.2　以函数为抽象单元

抽象方法是指隐藏了实现细节的函数。事实上，函数是一种非常好的工作单元，它使得我们能够坚持一句由巴特勒兰普森提出的、在 UNIX 社区长期奉行的格言：

> 使之运行，使之正确，使之快速。

同样，抽象函数使得我们能够完全理解 Kent Beck 的关于测试驱动开发（TDD）的类似的说法：

> 使之运行，再使之正确，再使之快速。

例如，对于错误和警告的报告，我们可以写出如下代码：

```
function parseAge(age) {
  if (!_.isString(age)) throw new Error("Expecting a string");
  var a;
```

```
  console.log("Attempting to parse an age");

  a = parseInt(age, 10);
  if (_.isNaN(a)) {
    console.log(["Could not parse age:", age].join(' '));
    a = 0;
  }

  return a;
}
```

虽然这个函数并不能全面地解析年龄字符串，但却是一个好例子。我们可以用如下方法来调用 parseAge：

```
parseAge("42");
// (console) Attempting to parse an age
//=> 42

parseAge(42);
// Error: Expecting a string

parseAge("frob");
// (console) Attempting to parse an age
// (console) Could not parse age: frob
//=> 0
```

parseAge 函数工作正常，但如果我们想修改输出错误、信息和警告呈现的方式，那么就需要修改相应的代码行，以及其他地方的类似输出模式。一个较好的方法是将错误、信息和警告的概念抽象成不同的函数：

```
function fail(thing) {
  throw new Error(thing);
}

function warn(thing) {
  console.log(["WARNING:", thing].join(' '));
}

function note(thing) {
  console.log(["NOTE:", thing].join(' '));
}
```

有了这些函数，我们就可将 parseAge 函数改写成：

```
function parseAge(age) {
  if (!_.isString(age)) fail("Expecting a string");
  var a;

  note("Attempting to parse an age");
  a = parseInt(age, 10);

  if (_.isNaN(a)) {
```

```
    warn(["Could not parse age:", age].join(' '));
    a = 0;
  }

  return a;
}
```

下面是新函数的行为：

```
parseAge("frob");
// (console) NOTE: Attempting to parse an age
// (console) WARNING: Could not parse age: frob
//=> 0
```

新的行为与旧的行为差别不大，不同的是现在报告错误、信息和警告的想法已经被抽象化了。错误、信息和警告的报告结果也因此完全被修改：

```
function note() {}
function warn(str) {
  alert("That doesn't look like a valid age");
}

parseAge("frob");
// (alert box) That doesn't look like a valid age
//=> 0
```

因此，由于行为包含在单一的函数中，所以函数可以被能够提供类似行为的新函数取代，或直接被完全不同的行为所取代（Abelson and Sussman，1996）。

1.2.3 封装和隐藏

多年来，我们一直被教导说封装是面向对象的基石。在面向对象术语中，封装是指一种将若干个数据与用来操纵它们的特定操作包装起来的方式，如图 1-8 所示。

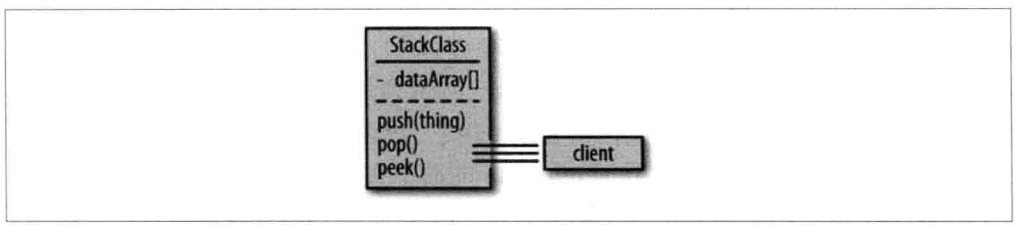


图 1-8　大多数面向对象语言使用对象边界来包装数据元素和它们的操作；因此，一个 Stack 类将一个元素的数组和用来操作这个数组的 push、pop 和 peek 方法包装在一起

JavaScript 提供了一个对象系统，它也确实能够封装数据与操作。然而，有时封装被用来限制某些元素的可见性，称为数据隐藏。在 JavaScript 的对象系统中，并没有提供直接隐藏数据的方式，因此使用一种叫做闭包的方式来隐藏数据，如图 1-9 所示。

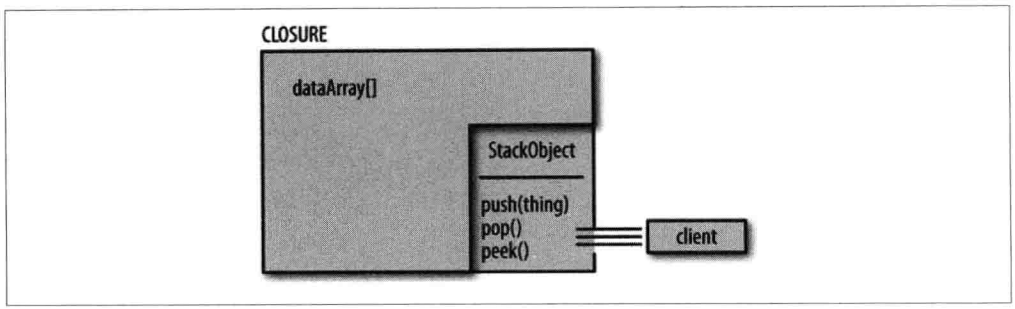


图 1-9　使用闭包来封装数据是一种函数式的向客户端隐藏细节的方式

在第 3 章之前，我们不会深入介绍闭包，但现在需要你记住的是，闭包也一种函数。通过使用包含了闭包的函数式技术，我们能够与大多数面向对象语言一样，实现有效的数据隐藏，尽管我不愿说函数式封装和面向对象式封装究竟谁更好。虽然在实践中它们是不同的，但它们实际上都提供了建立某种抽象的类似的方法。事实上，本书并不鼓励大家为了学习函数式编程而扔掉曾经学到的一切，从而喜欢学习函数式编程；相反，我们旨在就其本身来讨论函数式编程，这样你就可以确定它是否合适你的需求。

1.2.4　以函数为行为单位

隐藏数据和行为（通常不方便于快速修改）只是一种将函数作为抽象单元的方式。另外一种方式是提供一种简单地存储和传递基本行为的离散单元。举个例子，用 JavaScript 语法来索引数组中的一个值：

```
var letters = ['a', 'b', 'c'];

letters[1];
//=> 'b'
```

虽然数组索引是 JavaScript 的一个核心行为，但并没有办法可以在不把它放到函数里的前提下，获取这个行为并根据需要来使用它。因此，举一个函数的简单例子就是抽象数组索引行为，我们称它为 nth。nth 的简单实现如下所示：

```
function naiveNth(a, index) {
  return a[index];
}
```

或许正如你所猜测的，nth 的主逻辑工作正常：

```
naiveNth(letters, 1);
//=> "b"
```

然而，当传入意想不到的值时，nth 就会出错：

```
naiveNth({}, 1);
//=> undefined
```

因此，如果想围绕 nth 来实现函数抽象，我们或许会设计出下面的声明：nth 返回一个存储在允许索引访问的数据类型中的有效元素。这段声明的关键在于索引数据类型的概念。为了判断什么是索引的数据类型，我们可以创建一个 isIndexed 函数，实现如下所示：

```
function isIndexed(data) {
  return _.isArray(data) || _.isString(data);
}
```

函数 isIndexed 也是一个提供了判断某个数据是否是字符串或数组的函数抽象。在抽象之上实现新的抽象，nth 的实现也就如下所示：

```
function nth(a, index) {
  if (!_.isNumber(index)) fail("Expected a number as the index");
  if (!isIndexed(a)) fail("Not supported on non-indexed type");
  if ((index < 0) || (index > a.length - 1))
    fail("Index value is out of bounds");

  return a[index];
}
```

完整的 nth 函数的使用方法如下所示：

```
nth(letters, 1);
//=> 'b'

nth("abc", 0);
//=> "a"

nth({}, 2);
// Error: Not supported on non-indexed type

nth(letters, 4000);
// Error: Index value is out of bounds
nth(letters, 'aaaaa');
// Error: Expected a number as the index
```

与我们从 index 抽象中构建 nth 函数抽象的方式一样，我们也可以以同样的方式来构建一个 second 抽象：

```
function second(a) {
  return nth(a, 1);
}
```

函数 second 允许我们在一个不同但相关的情况下，正确使用 nth 函数：

```
second(['a','b']);
//=> "b"
```

```
second("fogus");
//=> "o"

second({});
// Error: Not supported on non-indexed type
```

另外一个 JavaScript 的基本行为单元是比较器。比较器是一个函数，它接受两个参数，如果第一个参数值小于第二个参数值，则返回<1；如果第一个参数值大于第二个参数值，则返回>1；如果两个参数值相等，则返回 0。事实上，JavaScript 本身似乎可以利用数字本身的性质，提供一个默认的 sort 方法：

```
[2, 3, -6, 0, -108, 42].sort();
//=> [-108, -6, 0, 2, 3, 42]
```

但是当有不同数据混合出现时，就会出错：

```
[0, -1, -2].sort();
//=> [-1, -2, 0]

[2, 3, -1, -6, 0, -108, 42, 10].sort();
//=> [-1, -108, -6, 0, 10, 2, 3, 42]
```

问题在于，在没有给定参数的情况下，Array#sort 方法执行字符串的比较。然而，每一个 JavaScript 程序员都知道，Array#sort 需要一个比较器，因此应该写成：

```
[2, 3, -1, -6, 0, -108, 42, 10].sort(function(x,y) {
  if (x < y) return -1;
  if (y < x) return  1;
  return 0;
});

//=> [-108, -6, -1, 0, 2, 3, 10, 42]
```

现在看起来似乎好多了，但是有更为通用的方法。毕竟我们可能还要在其他的代码中用到这样的排序，所以把这个匿名函数抽出来，给它起一个名字，或许会更好一些：

```
function compareLessThanOrEqual(x, y) {
  if (x < y) return -1;
  if (y < x) return  1;
  return 0;
}

[2, 3, -1, -6, 0, -108, 42, 10].sort(compareLessThanOrEqual);
//=> [-108, -6, -1, 0, 2, 3, 10, 42]
```

但函数 compareLessThanOrEqual 的问题在于，它被耦合到了“比较器”的概念当中，并不容易被单独当作一个通用的比较器来用：

```
if (compareLessThanOrEqual(1,1))
  console.log("less or equal");

// nothing prints
```

为了达到预期的效果，我们需要了解函数 compareLessThanOrEqual 作为一个比较器的性质：

```
if (_.contains([0, -1], compareLessThanOrEqual(1,1)))
  console.log("less or equal");

// less or equal
```

但这并不令人满意，特别是将来函数 compareLessThanOrEqual 的返回值可能会被其他开发人员修改为用-42 来代表比较结果。一个较好的实现 compareLessThanOrEquall 函数的方式是：

```
function lessOrEqual(x, y) {
  return x <= y;
}
```

总是返回一个布尔值（只会返回 true 或 false）的函数被称为谓词。因此，函数 lessOrEqual 事实上并不是一个精心设计的比较器，它只是对内建操作符<=的一个简单包装。

```
[2, 3, -1, -6, 0, -108, 42, 10].sort(lessOrEqual);
//=> [100, 10, 1, 0, -1, -1, -2]
```

看到这里，你恐怕会有转行的意向。但是，更深一步考虑，这事实上是合理的。如果 sort 函数需要一个比较器，并且 lessThan 函数只会返回 true 或 false，那么我们需要通过某种方式在不重复一堆的 if/then/else 模板的情况下，从后者的世界转换到前者当中来。解决方案是创建一个 comparator 函数，它接受一个谓词，并将其结果转化成 comparator 函数所期待的-1/0/1：

```
function comparator(pred) {
  return function(x, y) {
    if (truthy(pred(x, y)))
      return -1;
    else if (truthy(pred(y, x)))
      return 1;
    else
      return 0;
  };
};
```

现在，我们可以用 comparator 函数来返回一个能够将谓词 lessOrEqual 的结果（true 或 false）“映射”成比较器所期待的结果（-1，0 或 1）的新函数了，如图 1-10 所示。

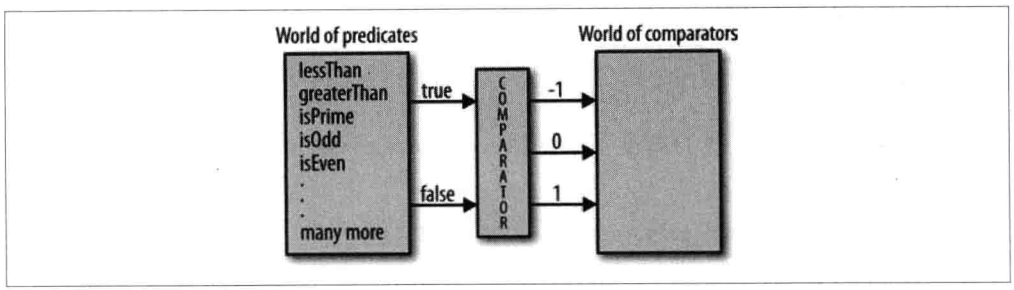


图 1-10　用比较器功能来桥接两个“世界”之间的差异

在函数式编程中，我们将经常会看到这类用于允许将一种类型数据转换为另一种类型数据的函数。我们来看看 comparator 的用法：

```
[100, 1, 0, 10, -1, -2, -1].sort(comparator(lessOrEqual));
//=> [-2, -1, -1, 0, 1, 10, 100]
```

comparator 函数可以将任何返回“真”或“假”的函数映射到“比较器”的概念上来。这个话题将在第 4 章进行更深入的讨论，但是值得我们现在注意的是，comparator 是一个高阶函数（因为它接受一个函数，并返回一个新的函数）。请记住，并不是每一个谓词都应该与 comparator 函数一起使用。例如，将_.isEqual 函数作为一个 comparator 的基础意味着什么？尝试一下，看看会发生什么。

在本书中，我们将会讨论多种用函数式技术提供并促进创建抽象的方式。正如我们接下来要讨论的，抽象的函数与数据之间有一个漂亮的协同作用。

1.2.5　数据抽象

JavaScript 的对象原型模型是一个丰富且基础的数据方案。就其本身而言，原型模型提供了在许多其他主流编程语言中没有发现的一定级别的灵活性。然而，出于习惯，许多 JavaScript 程序员会立即尝试利用原型或闭包（或两者都用）来建立一个基于类的对象系统[①]。尽管类系统有其长处，但很多时候一个 JavaScript 应用程序的数据需求比类中的简单得多[②]。

相反，使用 JavaScript 的原始数据、对象和数组，以及目前由类创建的大部分数据模型任务都属于一个范畴。从历史上看，函数式编程已经致力于构建能够实现更高层次行为以及能够工作在非常简单的数据结构上的函数[③]。事实上，在这本书（以

① ECMAScript.next 正讨论支持类的可能性。然而，这个特性颇受争议。不管怎么样，类不知道什么时候才能加入到 JavaScript。

② 基于类的对象系统的一个有力的论据是实现用户界面的历史使用。

③ 不久你就能看到函数式是注重列表数据结构。而对于 JavaScript 来说，array 就可以替代该数据结构。

及 Underscore）中，重点是如何处理数组和对象。这两个简单数据类型的灵活性是惊人的。不幸的是，它们常常被因为另一种基于类的系统而被忽视。

假设我们有一个任务，需要用编写 JavaScript 程序来处理逗号分隔值（CSV）文件（一种用来代表数据表的标准方法）。例如，假设我们有一个如下所示的 CSV 文件：

```
name,   age, hair
Merble, 35,  red
Bob,    64,  blonde
```

很明显，这个数据代表一个有三列（姓名、年龄和头发）和三行（第一个是标题行，并且其余的为数据行）的表。一个用来解析这个非常有限的 CSV 格式表示的字符串的小函数的实现如下：

```
function lameCSV(str) {
  return _.reduce(str.split("\n"), function(table, row) {
    table.push(_.map(row.split(","), function(c) { return c.trim()}));
    return table;
  }, []);
};
```

我们发现，函数 lameCSV 一行接一行地处理，用\n 分离出行，再将每一个表格中的空白去除[①]。整个数据表是一个包含了数组的数组，每个数组都包含了字符串。从表 1-1 所示的概念图可以看出，嵌套的数组可以被看作一个表。

表 1-1　　简单的嵌套数组是一种抽象的数据表的方式

姓　名	年　龄	头发颜色
Merble	35	红色
Bob	64	金黄

如下所示，使用 lameCSV 来解析存储在一个字符串中的数据：

```
var peopleTable = lameCSV("name,age,hair\nMerble,35,red\nBob,64,blonde");

peopleTable;
//=> [["name",   "age",   "hair"],
//    ["Merble", "35",    "red"],
//    ["Bob",    "64",    "blonde"]]
```

使用选择性间距突出了返回数组的表性质。在函数式编程中，像 lameCSV 这样的函数以及先前定义的 comparator 是将一个数据类型转换为另一个的关键。图 1-11 描述了一般的数据转换是如何被看作从一个“世界”进入另一个“世界”的。

① 函数 lameCSV 在这里只用作说明用途，并不是完整功能的 CSV 解释器。

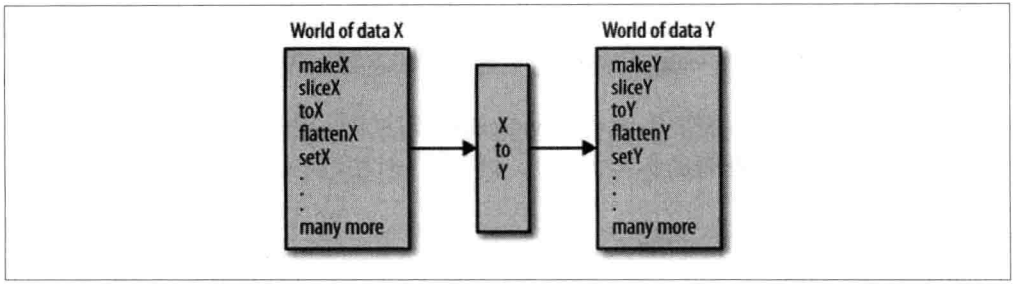


图 1-11　函数是跨越两个“世界”之间的桥梁

我们有更好的方法来表示表数据，但是这个嵌套数组目前来说已经足够了。事实上，很少有动机建立一个复杂的类层次结构来代表无论是表本身、行、人或任何其他数据。相反，保持数据表示最小，使得我们可以方便地使用已有的数组字段和数组处理函数和方法：

```
_.rest(peopleTable).sort();

//=> [["Bob",    "64",  "blonde"],
//    ["Merble", "35",  "red"]]
```

同样，由于我们知道原始数据的形式，可以创建更有描述性的名字选择函数来访问数据：

```
function selectNames(table) {
  return _.rest(_.map(table, _.first));
}
function selectAges(table) {
  return _.rest(_.map(table, second));
}

function selectHairColor(table) {
  return _.rest(_.map(table, function(row) {
    return nth(row, 2);
  }));
}

var mergeResults = _.zip;
```

这里定义的 select 函数使用了现有的数组处理函数，帮助我们流畅地访问简单数据类型：

```
selectNames(peopleTable);
//=> ["Merble", "Bob"]

selectAges(peopleTable);
//=> ["35", "64"]

selectHairColor(peopleTable);
```

```
//=> ["red", "blonde"]

mergeResults(selectNames(peopleTable), selectAges(peopleTable));
//=> [["Merble", "35"], ["Bob", "64"]]
```

一个能令人信服的说法是，实施和使用的简易性是使用 JavaScript 的核心数据结构进行数据建模的目的。这并不是说面向对象或基于类的方法就完全没有用。根据我的经验，我发现以处理集合为中心的函数式方式更适合处理与人有关的数据，而面向对象的方法最适合模拟人[①]。

如果愿意的话，我们可以将数据表改为自定义的基于类的模型。只要你使用选择器抽象，那么用户将永远不知道，也不关心。然而，在这本书中，我努力保持数据需求尽可能简单，并构建操作这些数据的抽象函数。有趣的是，通过将自己约束在对简单数据的操作上，增加了灵活性。你可能会对这些基本类型将会带我们走多远感到惊讶。

1.2.6 函数式 JavaScript 初试

这不是一本围绕 JavaScript 众多怪癖的书。已经有很多其他的书以这种方式来帮助你学习 JavaScript。然而，在开始任何 JavaScript 项目之前，这里定义了两个我们常常会需要的有用的函数：existy 和 truthy。

函数 existy 旨在定义事物的存在。JavaScript 中有两个值表示不存在——null 和 undefined。因此，existy 函数主要检查其参数是否是这类值，它的实现如下：

```
function existy(x) { return x != null };
```

使用松散不等式运算符（!=），就可以区分 null，undefined 和其他所有对象。existy 函数的使用方法如下所示：

```
existy(null);
//=> false

existy(undefined);
//=> false

existy({}.notHere);
//=> false

existy((function(){})());
//=> false

existy(0);
```

① 这种面向对象的范式从模拟社区如雨后春笋般以 simula 的编程语言形式涌现出来并不是巧合。通过写模拟系统，我强烈感觉到面向对象或基于角色的模型很适合用 simula。

```
//=> true

existy(false);
//=> true
```

使用 existy 函数简化了 JavaScript 中对象是否存在的判断。至少，它将存在性检查并置成了一个简单易用的函数。上面说到的第二个函数 truthy 的定义如下所示[①]。

```
function truthy(x) { return (x !== false) && existy(x) };
```

函数 truthy 用来判断一个对象是否应该被认为是 true 的同义词，它的使用方法如下所示[②]。

```
truthy(false);
//=> false

truthy(undefined);
//=> false

truthy(0);
//=> true

truthy('');
//=> true
```

在 JavaScript 中，有时只有在某个条件为真的情况下执行某些操作，否则返回类似 undefined 或 null 的值。一般模式如下所示：

```
{
  if(condition)
    return _.isFunction(doSomething) ? doSomething() : doSomething;
  else
    return undefined;
}
```

使用 truthy 函数，我们可以将该逻辑通过以下方式封装起来：

```
function doWhen(cond, action) {
  if(truthy(cond))
    return action();
  else
    return undefined;
}
```

① 我这里定义的 truthy 是指 JavaScript 的原始真类型。虽然知道 JavaScript 认为什么为真很重要，我还是在我的应用中简化这些规则。

② 这里数字 0 是故意设计成“truthy”的。原本代表 false 是继承自 C 语言。如果你还想使用该属性，就在期待 0 的时候不要用 truthy 函数。

现在，每当出现这种丑陋的模式，我们可以用以下操作来代替[①]：

```
function executeIfHasField(target, name) {
  return doWhen(existy(target[name]), function() {
    var result = _.result(target, name);
    console.log(['The result is', result].join(' '));
    return result;
  });
}
```

函数 executeIfHasField 的成功执行和出错的情况如下所示：

```
executeIfHasField([1,2,3], 'reverse');
// (console) The result is 3, 2, 1
//=> [3, 2, 1]

executeIfHasField({foo: 42}, 'foo');
// (console) The result is 42
//=> 42

executeIfHasField([1,2,3], 'notHere');
//=> undefined
```

没什么大不了的，对不对？所以，我们定义了两个函数，这很难称得上是函数式编程。函数式理念来自于它们的使用。你可能已经熟悉了在许多 JavaScript 实现中的 Array#map 的方法。它旨在接收一个函数，用一个数组中的每一个元素来调用它，并返回一个存储了新值的新数组。它的使用方法如下所示：

```
[null, undefined, 1, 2, false].map(existy);
//=> [false, false, true, true, true]

[null, undefined, 1, 2, false].map(truthy);
//=> [false, false, true, true, false]
```

以下就是函数式编程。

- 一个对“存在”的抽象函数的定义。
- 一个建立在存在函数之上的，对“真”的抽象函数的定义。
- 通过其他函数来使用上面的两个函数，以实现更多的行为。

类似于这样的代码会遍布在本书之中。

1.2.7 加速

我知道此刻你在想什么。这函数式编程执行起来必定慢得让人受不了，是吗？

① 我使用 existy(target[name])而不是 Underscore 的 has（target, name），是因为后者只会检查自己的字段。

没有办法否认的是，使用数组索引形式的 array[0]会执行得比任何 nth(array, 0)或_.first(array)都快。同样，以下形式的命令式循环也是非常快的[①]：

```
for (var i=0, len=array.length; i < len; i++) {
  doSomething(array[i]);
}
```

类似的功能，在所有因素都相同的情况下，使用 Underscore 的_.each 函数确实会慢一些：

```
_.each(array, function(elem) {
  doSomething(array[i]);
});
```

然而，很有可能的是所有因素不会相等。当然，如果一个函数对执行速度有需求，那么一个将内部使用的_.each 转换成类似功能的 for 或 while 的工作是合理的。令人高兴的是，笨重缓慢的 JavaScript 的日子即将结束，在某些情况下已经是过去的事情了。例如，谷歌的 V8 引擎的发布引来了一直在向所有 JavaScript 引擎供应商推动的（BAK 2012）运行时优化的时代[②]。即使其他厂商没有跟随谷歌的带领，V8 引擎的使用率仍然在增长，而事实上，它驱动着非常流行的 Chrome 浏览器和 Node.js 本身。然而，其他厂商都是跟着 V8 引擎的引领，并引入了运行时速度增强功能，如本机代码的执行，即时编译，更快的垃圾收集，客户端缓存，并嵌入到他们自己的 JavaScript 引擎中[③]。

然而，对于一些 JavaScript 程序员来说，对老浏览器——如 Internet Explorer 6——的支持是一个非常现实的要求。当面对传统平台时，有两个因素要考虑：（1）IE6 及其同类型浏览器的使用正在逐渐消失，（2）在代码到达浏览器之前，有其他的方法来提高速度[④]。例如，在代码内联是一个有趣的话题，因为许多采用代码内联的优化工作可以静态地展开，或者甚至是在代码运行之前展开。内联代码是将一段代码放在一个函数中，并“粘贴”到调用函数的地方中去。让我们来看一个例子，以便更清楚地理解。在 Underscore 的_.each 方法的实现内部，是一个类似于如前面所示 for 循环的循环代码（为清楚起见，对原代码做了一些修改）：

```
_.each = function(obj, iterator, context) {
  // bounds checking
  // check for native method
  // check for length property
    for (var i = 0, l = obj.length; i < l; i++) {
```

① 我用来评测 JavaScript 性能的网站是 http://www.jsperf.com。

② 在任何故事中都是有前传的。在 V8 之前，WebKit 项目用 SquirrelFish 引擎编译 JavaScript 代码。在 SquirrelFish 之前是 Tamarin VM，它由 Mozilla 基于 Adobe 的 ActionScript VM 2 开发。有趣的是，大部分 JavaScript 的优化技术都来自 Self 和 Smalltalk 这些老的语言。

③ 不懂这些优化技术没关系，它们不是本书的重点。但我还是强烈推荐研究这些话题。

④ 有一个有意思的网站监测全球 IE6 的使用率：http://www.ie6countdown.com。

```
        // call the given function
      }
  }
```

假设我们有一段代码，类似于：

```
function performTask(array) {
  _.each(array, function(elem) {
    doSomething(array[i]);
  });
}
// ... some time later

performTask([1,2,3,4,5]);
```

静态优化器可以将 performTask 的函数体转换为如下样子：

```
function performTask(array) {
  for (var i = 0, l = array.length; i < l; i++) {
    doSomething(array[i]);
  }
}
```

成熟的优化工具可以通过完全消除函数调用来对其进行进一步的优化：

```
// ... some time later

var array123 = [1,2,3,4,5];

for (var i = 0, l = array123.length; i < l; i++) {
  doSomething(array[i]);
}
```

最后，非常棒的静态分析器甚至可以将它进一步优化为五个独立的调用：

```
// ... some time later

doSomething(array[1]);
doSomething(array[2]);
doSomething(array[3]);
doSomething(array[4]);
doSomething(array[5]);
```

最理想的优化转换器是这样的：假设上面的调用不会带来什么影响或根本不会被调用，那么最优变换为：

```
// ... some time later
```

也就是说，如果一段代码可以被确定为“死代码”（不被调用），那么它可以安全地通过代码省略（code elision）来消除。目前已经有针对于 JavaScript 的此类优化器——以谷歌的闭包编译器（Google's Closure compiler）为主。闭包编译器是一个非

常好的能够将 JavaScript 高度优化的工程[①]。

有很多种不同的基于最佳实践和优化工具组合的方式，能够实现加速甚至是高度函数化的代码。可是，很多时候我们太急于考虑运算速度，甚至是在写出一段正确的代码之前就开始考虑运算速度。同样，有时候我发现我在不断依据速度来考虑问题，即使我所创建的系统根本不要考虑速度。Underscore 是一个非常流行的函数式编程 JavaScript 库，而大量的应用程序只是用用它而已。对于成就了许多函数式习语的 JavaScript 库重量级冠军——jQuery——也是同样。

当然，也有以速度考虑为首的场景（例如游戏编程和低延迟系统）。然而，即使在这样的系统的执行要求面前，函数式技术也并不一定会降低速度。我们应该不会希望将类似于 nth 的函数放在渲染界面的核心代码中，但总体而言，函数式结构仍然可以带来好处。

对我个人而言，编程风格的第一条规则是：写漂亮的代码。在我的职业生涯中，我已在不同程度上实现了这个目标，但它仍然是我追求的东西。写漂亮的代码使得我从另一个方面优化了时间：坐在一张桌子边打字的时间。我发现如果做得好，函数式代码风格可以很漂亮。我希望在快要看完本书的时候，你会同意这个观点。

1.3 Underscore 示例

在开始有趣的内容之前，我想解释一下为什么选择用 Underscore 来作为本书的表述方式。首先，Underscore 是一个非常好的库，它提供了一套漂亮实用的函数式风格 API。如果我从头开始重新实现一遍所有对理解函数式编程有用的函数是没有意义的。为什么需要在“映射化”的理念更重要的时候来实现 map 方法？当然，并不是说我不会在本书中实现核心的函数式工具，但还是以 Underscore 为基础[②]。

其次，读者在练习时可能会发现对 Array#map 调用不起作用。这种问题的原因可能是，运行环境中没有实现数组的 map 方法。另外，我也想尽可能地避免陷入跨浏览器兼容问题泥潭。在学习过程中，这种类型的影响是非常重要的，它会使得我在向大家介绍函数式编程的过程中分心去处理这类问题。使用 Underscore 几乎可以完全消除这类影响[③]。

---

① 使用 Google Closure compiler 时生成的特殊风格的代码颇受争议。但是正如我在 ClojureScript 编译器工作时学到的，如果有用的话，就会特别有用。

② 还有一些其他的函数式编程库如 Functional JavaScript,Bilby 甚至 JQuery。然而我选择的是 Underscore。

③ 当接触到底层方法调用时，Underscore 会考虑到浏览器兼容性的问题。

最后，JavaScript 的本质使得程序员能够经常重新发明轮子。JavaScript 本身可将强大的低级别构建与中高层语言完美地组合。正是这种奇怪的情况，使得人们几乎不敢用较低级别部件来创造新的语言特性。语言本身的进化可以消除重新造轮子的需求（例如模块系统），但我们不太可能看到这种需求的完全消失[①]。不过，我们相信在可以的条件下，应该重用已有的高品质代码库[②]。重新实现 Underscore 的功能将会非常有趣，但这并不能给你我（或者是我的员工们）带来很大的益处。

1.4 总结

以学习和使用 JavaScript 为动机，本章涵盖了一些介绍性主题。在现有稳定的主流编程语言中，很少有可以跟 JavaScript 的增长趋势相匹敌的。同样，这种增长潜力似乎是无限的。然而，JavaScript 是一门有缺陷的语言，它需要依赖于强大的技术、规范或两者的混合才能有效地被运用起来。一种用于构建 JavaScript 应用程序的技术称为“函数式编程”。概括地说，它包括以下技术。

- 确定抽象，并为其构建函数。
- 利用已有的函数来构建更为复杂的抽象。
- 通过将现有的函数传给其他的函数来构建更加复杂的抽象。

但是，仅仅只是构建函数是不够的。事实上，与强大的数据抽象相结合来实现函数式编程往往效果最好。在函数式编程和数据之间，存在一个美丽的对称性。下一章会对该对称性进行深入的讨论。

① 我觉得这是编程的本质。

② 我特别迷恋于用 microjs 网站来发现有趣的 JavaScript 库（译者注：也可以到该网站的 github 上添加你觉得有趣的 JavaScript 库——https://github.com/madrobby/microjs.com）。

第 2 章

一等函数与 Applicative 编程

本章将介绍函数式编程中的一等公民——函数。我会从 map、reduce 和 filter 这三个常用函数开始介绍。由于程序员对这些函数比较熟悉，以此为出发点将会为本书后面的内容打下基础。

2.1 函数是一等公民

很多熟悉 JavaScript 的程序员，包括我自己在内，都认为这是一种函数式语言。当然，也有人对此表述有分歧。产生这种分歧的原因在于，对函数式编程的定义往往是相对的，就像从次要和主要的区别来区分行动派和思想家一样[①]。

这种分歧事实上并不是件好事。但值得庆幸的是，各种关于函数式编程的观点似乎都同意一点：函数式编程语言应该是促进创造和使用函数的。

函数式编程通常还伴随着一些其他定义，包括但不限于静态类型、模式匹配、不变性、纯度等。然而，使用这些特性来验证函数式编程语言的某些实现通常是不可行的。如果要由其本质来定义的话，只需要符合“促进”和“一等函数”这两点，那么无论 Haskell 还是 JavaScript 都可以涵盖入内，后者则是本书的重点。谢天谢地终于用一段话解释完了函数式编程，看来还需要再用一段话来解释一等公民函数[②]。

“一等”这个术语通常用来描述值。当函数被看作“一等公民”时，那它就可以去任何值可以去的地方，很少有限制。比如数字在 JavaScript 里就是一等公民，同样作为一等公民的函数就会拥有类似数字的性质。

① 实际上，程序员甚至很难对最基本的术语达成一致。

② Haskell 处理 I/O 时通常采用命令式编程，但很少有人会因此说 Haskell 不是函数式语言。

- 函数与数字一样可以存储为变量。

```
var fortytwo = function() { return 42 };
```

- 函数与数字一样可以存储为数组的一个元素。

```
var fortytwos = [42, function() { return 42 }];
```

- 函数与数字一样可以作为对象的成员变量。

```
var fortytwos = {number: 42, fun: function() { return 42 }};
```

- 函数与数字一样可以在使用时直接创建出来。

```
42 + (function() { return 42 })();
//=> 84
```

- 函数与数字一样可以被传递给另一个函数。

```
function weirdAdd(n, f) { return n + f() }

weirdAdd(42, function() { return 42 });
//=> 84
```

- 函数与数字一样可以被另一个函数返回。

```
return 42;

return function() { return 42 };
```

最后两点其实就是“高阶”函数的定义：一个高阶函数应该可以执行下列至少一项操作。

- 以一个函数作为参数。
- 返回一个函数作为结果。

第 1 章列举了一个 comparator 的高阶函数例子，在这里我们再给出一个例子：

```
_.each(['whiskey', 'tango', 'foxtrot'], function(word) {
  console.log(word.charAt(0).toUpperCase() + word.substr(1));
});

// (console) Whiskey
// (console) Tango
// (console) Foxtrot
```

Underscore 的_.each 函数接受一个集合（对象或数组），并遍历其元素，然后调用作为 each 的第二个参数被传进来的函数。

我会在第 4 章更深入地讲解高阶函数。现在，我会再用几个篇幅来谈谈 JavaScript

本身，因为正如你可能已经知道的，JavaScript 不仅支持函数式编程风格，也同样支持一些其他的编程范式。

多种 JavaScript 编程方式

当然，JavaScript 并不仅限于函数式编程语言，使用其他编程方式也是很方便的。

（1）命令式编程

通过详细描述行为的编程方式。

（2）基于原型的面向对象编程

基于原型对象及其实例的编程方式。

（3）元编程

对 JavaScript 执行模型数据进行编写和操作的编程方式。

仅用命令式、面向对象和元编程会限制我们使用这些语言结构本身直接支持的编程范式。其实，你可以进一步支持其他范式，比如面向类型和事件编程，或是用语言本身作为实现媒介，但是这本书不会深入这些话题。在我开始进行定义和详细介绍 JavaScript 对一等函数的支持之前，让我再花一点时间阐明上述三种范式与函数式编程的区别。我将每一种范式的深入讨论贯穿整本书中，所以从现在开始可能再用一两段话就足够过渡到函数式编程的讨论中。

1. 命令式编程

命令式编程风格是由其细腻的（而且往往令人生气的）注意算法的实现细节来进行分类的。此外，命令式编程往往是建立在直接操作和检查程序状态之上。例如，假设你想编写一个程序来为歌曲“99 瓶啤酒”作词，用最直接的方式来描述这个程序的要求。

- 开始数字 *X* 为 99。
- 重复唱下面内容直到数字降到 1。

  ——墙上有 *X* 瓶啤酒。

  ——*X* 瓶啤酒。

  ——拿一个下来，分给大家。

——墙上还有 $X-1$ 瓶啤酒。

- 把最后得到的数字减 1，得到的结果作为 X 重新开始。
- 当最终 X 变成 1，最后一句改为：

  ——墙上已经没有啤酒了。

事实证明，这个描述可以直接翻译成 JavaScript 的命令式实现，如下所示：

```
var lyrics = [];

for (var bottles = 99; bottles > 0; bottles--) {
  lyrics.push(bottles + " bottles of beer on the wall");
  lyrics.push(bottles + " bottles of beer");
  lyrics.push("Take one down, pass it around");

  if (bottles > 1) {
    lyrics.push((bottles - 1) + " bottles of beer on the wall.");
  }
  else {
    lyrics.push("No more bottles of beer on the wall!");
  }
}
```

这个命令式的版本虽然有点做作，但却是命令式编程的标志性风格。也就是说，对“99 瓶啤酒”的命令式描述的实现就是“99 瓶啤酒”的完整程序。因为命令性代码运行在如此细节的层面，它们往往需要一次性实现或尝试最好的，否则难以再利用。此外，命令式语言通常局限于细节，这虽有利于编译器，却不利于程序员（Sokolowski 1991）。

相比之下，这个问题的函数式解决方法如下所示：

```
function lyricSegment(n) {
  return _.chain([])
    .push(n + " bottles of beer on the wall")
    .push(n + " bottles of beer")
    .push("Take one down, pass it around")
    .tap(function(lyrics) {
           if (n > 1)
             lyrics.push((n - 1) + " bottles of beer on the wall.");
           else
             lyrics.push("No more bottles of beer on the wall!");
         })
    .value();
}
```

该 lyricSegment 函数其实做很少的事情。事实上，它只是产生给定数量的单一的歌词：

```
lyricSegment(9);

//=> ["9 bottles of beer on the wall",
//    "9 bottles of beer",
//    "Take one down, pass it around",
//    "8 bottles of beer on the wall."]
```

函数式编程的思路是将程序拆分并抽象成多个函数再组装回去。按照这种思维方式，你可以想象，函数 lyricSegment 是作为“99 瓶啤酒”程序的歌词生成这部分，被抽了出来。这样，抽象的歌词片段组装成整首歌的程序将如下所示：

```
function song(start, end, lyricGen) {
  return _.reduce(_.range(start,end,-1),
    function(acc,n) {
      return acc.concat(lyricGen(n));
    }, []);
}
```

使用起来也很方便，只要：

```
song(99, 0, lyricSegment);

//=> ["99 bottles of beer on the wall",
//    ...
//    "No more bottles of beer on the wall!"]
```

以这种方式可以让你从一般的歌词装配过程中分离出的逻辑区域（例如生成歌词片段）。如果你愿意，你可以通过将不同的函数，如 germanLyricSegmen 或 agreementLyricSegment，传入函数 song，以产生完全不同的歌词。在这本书中，我将逐渐深入解释并使用这种技术。

2. 基于原型的面向对象编程

JavaScript 的构造函数是类（至少在实现层面上是如此），这一点非常类似于 Java 或 C#，但使用的方法更为底层。在 Java 程序中的每个实例是以类作为它的模板生成的，而 JavaScript 却是利用现有的对象作为原型来生成特定的实例[①]。这种对象特定，以及将调用导向至被称为“原型链”的内置调度逻辑的编程方式，远比面向类型编程更为底层，但极为优雅且功能强大。我会在后面第 9 章谈谈如何利用 JavaScript 的原型链。

现在，可以用 Underscore 本身作为一个完美的例证，解释函数也可以像对象中字段的值一样存在：

```
_.each;

//=> function (array, n, guard) {
//    ...
//   }
```

① 这仿佛是一个先有鸡还是先有蛋的问题。

这样很优美，不是吗？嗯……不完全是。由于 JavaScript 是面向对象语言，它必须有一个语义的自引用。但事实上，它的自引用语义与函数式编程的概念是相冲突的。注意观察以下代码：

```
var a = {name: "a", fun: function () { return this; }};

a.fun();
//=> {name: "a", fun: ...};
```

你会发现，嵌入在函数 fun 的自引用 this 返回的是对象 a 本身。这可能正是你所期望的。但是，注意观察下列代码：

```
var bFunc = function () { return this };
var b = {name: "b", fun: bFunc};

b.fun();
//=> some global object, probably Window
```

这会得到出乎意料的结果。当函数是在对象实例的上下文之外被创建，它的 this 指向的是全局对象。因此，当我将 bFunc 绑定到 b 的字段 b.fun 后[①]，其引用并没有更新为 b。大多数编程语言都提供了函数式和面向对象的风格，需要权衡的是其处理子引用的方式。JavaScript 有它自己的方法，而 Python 和 Scala 也有不同的方法。在本书中，你会发现一个面向对象与函数式的风格之间存在先天性的冲突，但 Underscore 提供了一些工具来消除或是缓解这种冲突。我将在后面进行更深入的讨论。但现在请记住，当我使用“函数”这个词的时候，指独立存在的函数，而“方法”则指的是在对象的上下文中创建出来的函数。

3. 元编程

JavaScript 对元编程的支持为其基于原型的面向对象编程提供了便利。许多编程语言都支持元编程，但很少有 JavaScript 强大。对元编程比较好的定义应该是这样的：编写代码来做一些事情叫作编程，而元编程是当你写的代码改变了某些代码被解释的方式。让我们来看看元编程的一个例子，这样可以更好地理解。

在 JavaScript 的情况下，this 引用的动态性质可以用来元编程。例如，观察下面的构造函数：

```
function Point2D(x, y) {
  this._x = x;
  this._y = y;
}
```

当使用 new 来生成 Point2D 函数的对象实例，会得到你所期望的字段值：

① 译者注：作者好像犯了一个错误，这段代码其实返回的也是对象 b，this 其实指向调用时的上下文。

```
new Point2D(0, 1);

//=> {_x: 0, _y: 1}
```

然而，可以使用方法 Function.call 来进行元编程，将 Point2D 派生为新 Point3D 的构造器：

```
function Point3D(x, y, z) {
  Point2D.call(this, x, y);
  this._z = z;
}
```

这样会创建一个正如我们期待的新实例：

```
new Point3D(10, -1, 100);

//=> {_x: 10, _y: -1, _z: 100}
```

Point3D 并没有显式地设置 this._x 和 this._y 的值，而是通过调用 Point2D 的 call 方法动态绑定 this，这样可以改变构造属性的目标。

因为它与函数式编程正交，我不会在这本书太深入介绍 JavaScript 元编程，但会偶尔用到它[①]。

2.2 Applicative 编程

本书到目前为止，只展示了函数式编程处理函数功能很窄的一个方面，即 Applicative 编程。Applicative 编程定义为函数 A 作为参数提供给函数 B。在这本书中，我不会过多地使用术语“Applicative”，因为这个词出现在不同的上下文中有不同的含义，但是接下来你还会见到这个术语。Applicative 编程的三个典型的例子是 map、reduce 和 filter。观察它们是如何运作的：

```
var nums = [1,2,3,4,5];

function doubleAll(array) {
  return _.map(array, function(n) { return n*2 });
}

doubleAll(nums);
//=> [2, 4, 6, 8, 10]

function average(array) {
  var sum = _.reduce(array, function(a, b) { return a+b });
  return sum / _.size(array);
}
```

① 如果你对 JavaScript 元编程感兴趣，可以向 O’Reilly 出版社申请让我写一本。

```
average(nums);
//=> 3

/* grab only even numbers in nums */
function onlyEven(array) {
  return _.filter(array, function(n) {
    return (n%2) === 0;
  });
}

onlyEven(nums);
//=> [2, 4]
```

你可能猜到函数 map、reduce 和 filter 会在某个地方最终调用作为参数传入的这些匿名函数，事实确实是这样的。实际上，这些函数的语义可以由这个调用关系来定义。

- _.map 遍历集合并对其每一个值调用一个函数，返回结果的集合。
- _.reduce 利用函数将值的集合合并成一个值，该函数接收一个积累值和本次处理的值。
- _.filter 对集合每一个值调用一个谓词函数（返回 true 或 false 的函数），抽取谓词函数返回 true 的值的集合。

函数 map、reduce 和 filter 是最简单和最具有象征性的 Applicative 函数式编程，但 Underscore 提供了许多其他函数供你使用。在介绍这些函数之前，让我花点时间来解释集合中心编程的概念，它常常与函数式编程一起出现。

2.2.1 集合中心编程

函数式编程对于需要操作集合中元素的任务非常有用。当然，数组[1,2,3,4,5]是一个数字集合，但我们也可以设想，一个对象{a: 1, b: 2}是键值对的集合。拿_.map 使用_.identity 函数（返回其参数的函数）作为简单例子：

```
_.map({a: 1, b: 2}, _.identity);
//=> [1,2]
```

似乎_.map 只涉及键值对的值部分，但这种限制只是使用上的问题。如果我们要处理键/值对，我们只需要提供一个接受键值对的函数：

```
_.map({a: 1, b: 2}, function(v,k) {
  return [k,v];
});
//=> [['a', 1], ['b', 2]]
```

_.map 还接收集合本身作为第三个参数：

```
_.map({a: 1, b: 2}, function(v,k,coll) {
  return [k, v, _.keys(coll)];
 });
//=> [['a', 1, ['a', 'b']], ['b', 2, ['a', 'b']]]
```

从以集合为中心的角度看，Underscore 和一般函数式编程所提倡的是要建立一个统一的处理形式，使我们可以重用一套综合的函数。正如伟大的首位图灵奖获得者 Alan Perlis 曾经说的：

> 用 100 个函数操作一个数据结构，比用 10 个函数操作 10 个数据结构要好。

在这本书中，我强调通过用集合中心的泛型函数处理数据的概念。

2.2.2 Applicative 编程的其他实例

我提供了一些例子和讨论来作为 Applicative 编程的收尾。

1. reduceRight

前面已经介绍过_.reduce 函数，但我没有提到它的兄弟_.reduceRight。这两种函数以大致相同的方式操作，不同之处在于_.reduce 从左至右操作，而_.reduceRight 从右到左。注意观察差异之处：

```
var nums = [100,2,25];

function div(x,y) { return x/y };

_.reduce(nums, div);
//=> 2

_.reduceRight(nums, div);
//=> 0.125
```

.reduce 的操作是(100/2) / 25，而.reduceRight 是(25/2) / 100。如果提供给 reduce 兄弟的函数符合结合律，那么它们返回的值相同；否则，这种顺序的差异会造成不同的结果。有很多函数都用到_.reduceRight。下面是几个例子：

```
function allOf(/* funs */) {
  return _.reduceRight(arguments, function(truth, f) {
    return truth && f();
  }, true);
}

function anyOf(/* funs */) {
  return _.reduceRight(arguments, function(truth, f) {
    return truth || f();
  }, false);
}
```

下面是使用 allOf 和 anyOf 的示例：

```
function T() { return true }
function F() { return false }

allOf();
//=> true
allOf(T, T);
//=> true
allOf(T, T, T , T , F);
//=> false
anyOf(T, T, F);
//=> true
anyOf(F, F, F, F);
//=> false
anyOf();
//=> false
```

_.reduceRight 函数在提供惰性求值的语言中更有优势，但由于 JavaScript 不是这样的语言，计算顺序成为了关键因素（Bird，1988）[①]。

2．find

find 函数理解起来非常容易，它接收一个集合和一个谓词函数，并返回该谓词为 true 时的第一个元素。如下是 find 的一个例子：

```
_.find(['a', 'b', 3, 'd'], _.isNumber);
//=> 3
```

注意这里使用了内置函数_.isNumber 作为谓词函数。Underscore 有许多谓词函数可以使用，包括_.isEqual、_.isEmpty、_.isElement、_.isArray、_.isObject、_.isArguments、_.isFunction、_.isString、_.isNumber、_.isFinite、_.isBoolean、_.isDate、_.isRegExp、_.isNaN、_.isNull 和_.isUndefined。我将会在这本书中用到它们中的一些或全部。

3．reject

Underscore 的_.reject 本质上是_.filter 的逆 ，它接收一个谓词并返回除了谓词为 true 的值的集合。例如

```
_.reject(['a', 'b', 3, 'd'], _.isNumber);
//=> ['a', 'b', 'd']
```

这与颠倒_.filter 的谓词其实是一样的。事实上，一个简单函数补集（complement）就可以完成这样的任务[②]。

---

① allOf 和 anyOf 函数也可以用 Underscore 的 reduce 函数轻松实现，但我选择前者以便能更好地解释 reduceRight。

② 值得一提的是，将 null 作为第一个参数传入 apply。之前说过，apply 的第一个参数是设置 this 引用的“目标”对象。由于我并不知道应该设置什么作为目标对象，甚至是不是需要设置目标对象，这里使用 null 表示 this 应指向全局对象。

```
function complement(pred) {
  return function() {
    return !pred.apply(null, _.toArray(arguments));
  };
}
```

该 complement 函数接受一个谓词，并返回一个反转谓词结果的函数。然后可以用它将_.filter 实现_.reject 相同的效果：

```
_.filter(['a', 'b', 3, 'd'], complement(_.isNumber));
//=> ['a', 'b', 'd']
```

complement 函数就是一个高阶函数的例子。虽然我在之前简单地触及过高阶函数的定义，我会推迟更深层次的讨论，直至第 3 章。

4. all

_.all 函数接收一个集合和一个谓词，当对于所有的元素谓词函数都返回 true 时，返回 true，例如。

```
_.all([1, 2, 3, 4], _.isNumber);
//=> true
```

当然，如果任何元素对谓词测试失败，则_.all 返回 false。

5. any

_.any 函数接收一个集合和一个谓词，如果任何元素的谓词检查返回了 true，则返回 true。例如

```
_.any([1, 2, 'c', 4], _.isString);
//=> true
```

当然，如果*所有*的元素谓词都失败，_.any 返回 false。

6. sortBy，groupBy 和 countBy

我将讨论的这最后三个 Applicative 函数是相关的，因为它们都基于给定的条件函数（criteria function）的结果来做出相应的行动。先解释第一个函数 _.sortBy，它接收一个集合和一个函数，并返回由传入的函数确定的条件来对集合排序的结果。例如

```
var people = [{name: "Rick", age: 30}, {name: "Jaka", age: 24}];

_.sortBy(people, function(p) { return p.age });

//=> [{name: "Jaka", age: 24}, {name: "Rick", age: 30}]
```

_.groupBy 函数接收一个集合和一个条件函数，并返回一个对象，其中键是由传入函数所返回的条件，值是与其相对应的元素。例如

```
var albums = [{title: "Sabbath Bloody Sabbath", genre: "Metal"},
              {title: "Scientist", genre: "Dub"},
              {title: "Undertow", genre: "Metal"}];

_.groupBy(albums, function(a) { return a.genre });
//=> {Metal:[{title:"Sabbath Bloody Sabbath", genre:"Metal"},
//           {title:"Undertow", genre:"Metal"}],
//    Dub:  [{title:"Scientist", genre:"Dub"}]}
```

_.groupBy 函数是非常方便的，并且会在本书中出现相当多次。

我将要讨论的最后一个 applicative 函数是_.countBy。此函数类似于_.groupBy，只不过它返回一个对象，包含符合匹配条件的键及其个数，如下：

```
_.countBy(albums, function(a) { return a.genre });

//=> {Metal: 2, Dub: 1}
```

至此，终于圆满完成了 applicative 函数式编程的讨论。我从 JavaScript 代码中可能最常遇到的情况入手，这样能在深入到旷野冒险前让你掌握一定的背景知识。接下来，我会介绍 JavaScript 代码中常见的话题：闭包。

2.2.3 定义几个 Applicative 函数

我已经展示了许多 Underscore 提供的 applicative 函数，但是如何自己创建一些呢？这个过程是相当简单的：定义一个函数，让它接收一个函数，然后调用它。

一个简单的、接收一定数量的参数并连接它们的函数并不是 applicative：

```
function cat() {
  var head = _.first(arguments);
  if (existy(head))
    return head.concat.apply(head, _.rest(arguments));
  else
    return [];
}

cat([1,2,3], [4,5], [6,7,8]);
//=> [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]
```

虽然相当有用，但 cat 不指望得到任何函数作为参数[①]。同样，函数 construct 接受一个元素和一个数组，并用 cat 将元素放置在数组前方：

```
function construct(head, tail) {
  return cat([head], _.toArray(tail));
}
construct(42, [1,2,3]);
//=> [42, 1, 2, 3]
```

① cat 函数当然可以接受函数数组作为参数，但这样就有些离题了。

虽然 construct 在函数中用到 cat，但它并没有将 cat 作为参数传入，所以它不符合 applicative 的要求。

然而，定义如下的一个 mapcat 函数是 applicative：

```
function mapcat(fun, coll) {
  return cat.apply(null, _.map(coll, fun));
}
```

mapcat 函数接收一个函数 fun，与_.map 用了相同的方式，对给定集合中的每个元素进行调用。这种 fun 的使用是 mapcat 的 applicative 本质。此外，mapcat 串连_.map 结果中的所有元素：

```
mapcat(function(e) {
  return construct(e, [","]);
}, [1,2,3]);
//=> [1, ",", 2, ",", 3, ","]
```

当映射函数返回一个数组，mapcat 可将其展平。然后，我们可以使用 mapcat 和另一个函数 butLast，来定义第三个函数 interpose：

```
function butLast(coll) {
  return _.toArray(coll).slice(0, -1);
}

function interpose (inter, coll) {
  return butLast(mapcat(function(e) {
    return construct(e, [inter]);
  },
  coll));
}
```

使用 interpose 很简单：

```
interpose(",", [1,2,3]);

//=> [1, ",", 2, ",", 3]
```

这是函数式编程的一个关键方面：用较低级别的函数来逐步定义和使用离散功能。很多时候，你会看到（在这本书中，我会大声宣传）一串函数链一个接一个地调用，每一个函数将逐渐转变的结果传递到后一个函数，最后得到解决方案。

2.3 数据思考

在这本书中，我将使用最少的数据类型来表示抽象，如集合、树和表。但是在 JavaScript 中，尽管它的对象类型是非常强大的，但与其一起工作的工具并不完全是函数式的。相反，用 JavaScript 对象更常用的模式是，以多态调度为目的来附加

方法。值得庆幸的是，你还可以把一个未命名的 JavaScript 对象（不是通过构造函数生成的）看作一个简单的关联性数据存储[①]。

如果我们能够对 Book 对象或 Employee 类型的实例执行的唯一操作是 setTitle 或 getSSN 的话，那么我们已经将数据转换成了单件信息的微语言（Hickey，2011）。关联数据技术是一种更灵活的建模数据方式。JavaScript 对象，即使不考虑原型机理，依然是理想的关联数据建模载体，其中可以结构化具名值，以形成更高层次的数据模型，提供统一的访问方式[②]。

虽然把 JavaScript 对象当成数据映射来操作和访问的工具本身很稀少，但是幸好 Underscore 提供了有用的一系列操作。其中最易于掌握的函数有_.keys，_.values 和_.pluck。_.keys 和_.values 都是根据它们的功能命名，都是接收一个对象并返回它的键或值的数组：

```
var zombie = {name: "Bub", film: "Day of the Dead"};

_.keys(zombie);
//=> ["name", "film"]

_.values(zombie);
//=> ["Bub", "Day of the Dead"]
```

_.pluck 函数接收一个对象数组和一个字符串，并返回在给定的键数组中对应对象的值：

```
_.pluck([{title: "Chthon", author: "Anthony"},
         {title: "Grendel", author: "Gardner"},
         {title: "After Dark"}],
        'author');

//=> ["Anthony", "Gardner", undefined]
```

这三个函数都是分解给定的对象并放入数组中，并且允许你执行顺序操作。另一种查看 JavaScript 对象的方式是把它看作数组的数组，每个数组包含一个键和一个值。Underscore 提供了一个名为_.pairs 的函数，它接收一个对象，并把它变成这个嵌套数组：

```
_.pairs(zombie);

//=> [["name", "Bub"], ["film", "Day of the Dead"]]
```

① ECMAScript 对于提供不使用原型系统的简单 map（以及 set）类型有过一些讨论。具体可以参考 http://wiki.ecmascript.org/doku.php?id=harmony:simple_maps_and_sets。

② JavaScript 提供统一访问其关联数据类型的能力，使得你能编写强大的通用数据操作函数套件。如 JavaScript 的 for...in 循环以及访问索引操作符成为了 Underscore 实现的基础。

可以对此嵌套数组视图进行顺序操作，还可以使用 Underscore 的_.object 函数将其重新组合成一个新的对象：

```
_.object(_.map(_.pairs(zombie), function(pair) {
  return [pair[0].toUpperCase(), pair[1]];
}));

//=> {FILM: "Day of the Dead", NAME: "Bub"};
```

除了以某种微妙的方式来改变键，另一种常见的函数是通过_.invert 函数翻转键和值：

```
_.invert(zombie);
//=> {"Bub": "name", "Day of the Dead": "film"}
```

值得一提的是，不像许多其他语言，JavaScript 对象的键永远只能是字符串。因此偶尔会在使用_.invert 时引起混乱：

```
_.keys(_.invert({a: 138, b: 9}));
//=> ['9', '138']
```

Underscore 还提供了增加，或根据参数的值从对象中移除值的函数：

```
_.pluck(_.map([{title: "Chthon", author: "Anthony"},
               {title: "Grendel", author: "Gardner"},
               {title: "After Dark"}],
              function(obj) {
                return _.defaults(obj, {author: "Unknown"})
              }),
        'author');

//=> ["Anthony", "Gardner", "Unknown"]
```

在这个例子中，每一个对象都被_.defaults 函数预处理，以确保该 author 字段包含一个有用的值（而不是 undefined ）。_.defaults 用于扩充传入的对象，而_.pick 和_.omit 这两个函数会根据它们的参数（潜在的）筛选对象：

```
var person = {name: "Romy", token: "j3983ij", password: "tigress"};

var info = _.omit(person, 'token', 'password');
info;
//=> {name: "Romy"}
var creds = _.pick(person, 'token', 'password');
creds;

//=> {password: "tigress", token: "j3983ij"};
```

使用相同的“危险”键：token 和 password，_.omit 函数接收一个黑名单，从对象中删除键，而_.pick 根据白名单保留相应键（都不会破坏原对象）。

最后，Underscore 提供了_.findWhere 和_.where 两个选择器函数，可以方便地根据

关键的条件寻找特定对象。_.findWhere 函数接收一个对象的数组，并返回第一个与参数给出的条件匹配的对象：

```
var library = [{title: "SICP", isbn: "0262010771", ed: 1},
               {title: "SICP", isbn: "0262510871", ed: 2},
               {title: "Joy of Clojure", isbn: "1935182641", ed: 1}];

_.findWhere(library, {title: "SICP", ed: 2});

//=> {title: "SICP", isbn: "0262510871", ed: 2}
```

.where 函数使用起来与.findWhere 非常相似，只是它会返回所有符合条件的对象：

```
_.where(library, {title: "SICP"});

//=> [{title: "SICP", isbn: "0262010771", ed: 1},
//    {title: "SICP", isbn: "0262510871", ed: 2}]
```

这种类型的使用模式引出了一个很重要的数据抽象：表。事实上，使用 Underscore 的函数来操作对象，你会觉得非常类似于 SQL，都是根据一个强大的声明规约进行过滤和处理逻辑数据表。不过，我还会实现更加流畅的表处理的 API，我需要加强并超越 Underscore 所提供的函数，并使用函数式的技术优势。在本节中所创建的函数只实现所有的 SQL 引擎都基于的关系代数（2003 年）的一个子集。我不会深入关系代数，而只停留在 SQL 伪代码层面。假定读者已有类 SQL 语言的基本熟练水平。

“表状（Tabel-Like）”数据

表 2-1 给出了一种查看 library 数组中数据的方式。

表 2-1　　JavaScript 对象数组的数据表视图

Title	ISBN	ed
SICP	0262010771	1
SICP	0262510871	2
Joy of Clojure	1935182641	1

在这里，每一行就相当于一个 JavaScript 对象，每一格都是对象中的一个键/值对。表 2-2 中的信息相当于 SQL 查询 SELECT title FROM library 的结果。

表 2-2　　标题表

Title
SICP
SICP
Joy of Clojure

用我目前发现的工具可以达到同样的效果：

```
_.pluck(library, 'title');

//=> ["SICP", "SICP", "Joy of Clojure"]
```

问题是，_.pluck 函数的结果并不同于表的抽象。虽然技术上说字符串的数组也是一个对象数组，但_.pluck 打破了这种抽象。相反，你需要一个允许类似于 SQL 的 SELECT 语句的函数，同时还保留表抽象。函数 project 将作为 SELECT 的替身[①]。

```
function project(table, keys) {
  return _.map(table, function(obj) {
    return _.pick.apply(null, construct(obj, keys));
  });
};
```

project 函数用_.pick 函数作用在数组中的每个对象，并选出匹配白名单的对象，从而保持了抽象的表：

```
var editionResults = project(library, ['title', 'isbn']);

editionResults;
//=> [{isbn: "0262010771", title: "SICP"},
//    {isbn: "0262510871", title: "SICP"},
//    {isbn: "1935182641", title: "Joy of Clojure"}];
```

如上所示，project 函数返回表状的数据结构，用 project 还可以进一步处理：

```
var isbnResults = project(editionResults, ['isbn']);

isbnResults;
//=> [{isbn: "0262010771"},{isbn: "0262510871"},{isbn: "1935182641"}]
```

最后，可以有意地选出所需的数据来打破抽象：

```
_.pluck(isbnResults, 'isbn');
//=> ["0262010771", "0262510871", "1935182641"]
```

这种提取是一种有意地从一个模块或函数“传递”数据到下一个行为。project 函数作用于抽象表，而另一个虚拟的函数 populateISBNSelectBox 会作用于字符串数组，然后构造表单的 DOM 元素<option value= "1935182641">1935182641</option> 。函数式程序员会深入思考他们应用的数据，以及每一层交接的格式。在视觉上，你能想象高层次的以数据为中心的思维，如图 2-1 所示（Gruber，2004）。

在深入到数据的转换和传递前，让我们再来探讨一下这个表的抽象。例如，大多数 SQL 引擎提供 AS 用于给列声明一个别名。在 SQL 中，AS 用法如下：

① 我们习惯的 SQL 中的 SELECT 语句其实是关系代数中的 PROJECT 语句。我将使用 project，因为 Underscore 已经提供了 select 作为 filter 的别名。

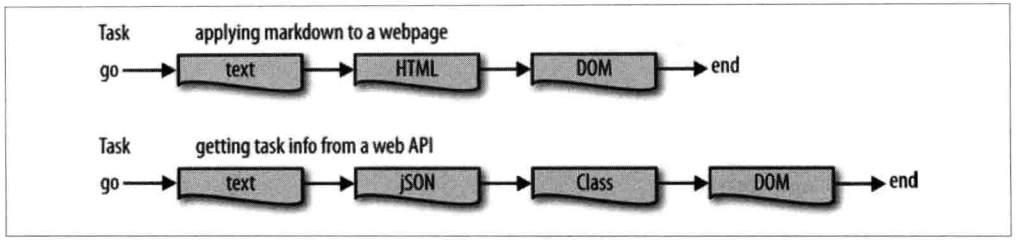


图 2-1　使用数据转换抽象任务

```
SELECT ed AS edition FROM library;
```

前面的查询将输出表 2-3 中显示的结果。

表 2-3　　别名 edition 的表

edition
1
2
1

然而，在我实现 as 之前，有必要创造一个工具函数 rename，可根据给定的重命名条件的映射表来重命名：

```
function rename(obj, newNames) {
  return _.reduce(newNames, function(o, nu, old) {
    if (_.has(obj, old)) {
      o[nu] = obj[old];
      return o;
    }
    else
      return o;
  },
  _.omit.apply(null, construct(obj, _.keys(newNames))));
};
```

实现 rename 的一个重点是，它使用了_.reduce 函数来重新构造一个对象，通过使用 Underscore 的另一种模式遍历保留累加器的“mappiness”的键/值对。我根据 renaming 的映射直接操作数组来进行重命名键。举个例子会更清楚地解释这是如何工作的：

```
rename({a: 1, b: 2}, {'a': 'AAA'});

//=> {AAA: 1, b: 2}
```

我可以使用函数 rename 实现 as，来操作表单抽象：

```
function as(table, newNames) {
  return _.map(table, function(obj) {
    return rename(obj, newNames);
  });
};
```

正如你可能发现的，as 通过简单的映射 rename 到表中的每个对象。注意：

```
as(library, {ed: 'edition'});

//=> [{title: "SICP", isbn: "0262010771", edition: 1},
//    {title: "SICP", isbn: "0262510871", edition: 2},
//    {title: "Joy of Clojure", isbn: "1935182641", edition: 1}]
```

因为无论 as 还是 project 都操作同一抽象，我可以将调用连在一起，这样就与执行 SQL 语句一样得到一个新表：

```
project(as(library, {ed: 'edition'}), ['edition']);

//=> [{edition: 1}, {edition: 2}, {edition: 1}];
```

最后，我可以实现类似于 SQL 的 WHERE 子句，这样就可以提供基本的操作表抽象的 SQL 功能，命名为 restrict （2011 年）：

```
function restrict(table, pred) {
  return _.reduce(table, function(newTable, obj) {
    if (truthy(pred(obj)))
      return newTable;
    else
      return _.without(newTable, obj);
  }, table);
};
```

restrict 函数接收一个函数，作为对表中的每个对象的谓词。每当谓词返回 false 值时，该对象不会出现在最终表中。下面是 restrict 如何删除所有书的第一版：

```
restrict(library, function(book) {
  return book.ed > 1;
});

//=> [{title: "SICP", isbn: "0262510871", ed: 2}]
```

像其他表抽象的函数一样，restrict 可以被链接：

```
restrict(
  project(
    as(library, {ed: 'edition'}),
    ['title', 'isbn', 'edition']),
  function(book) {
    return book.edition > 1;
});

//=> [{title: "SICP", isbn: "0262510871", edition: 2},]
```

等效的 SQL 语句可以写成如下：

```
SELECT title, isbn, edition FROM (
  SELECT ed AS edition FROM library
) EDS
WHERE edition > 1;
```

尽管它们没有 SQL 那么有魅力，但函数 project、as 和 restrict 共同操作同一张表的抽象——简单的对象数组。这就是数据思考。

2.4 总结

本章的重点是一等函数。一等函数被看成与其他数据一样的函数。

- 它们可以存储在变量中。
- 它们可以被存储在数组中的插槽中。
- 它们可以存储在对象的字段中。
- 它们可以根据需要来创建。
- 它们可以被传递到其他函数中。
- 它们可以被其他函数返回。

JavaScript 支持一等函数是实践函数式编程的一大福音。一个大多数读者都熟悉的特殊函数式编程形式，被称为 applicative 编程。本章列举了几个 applicative 编程的例子：_.map、_.reduce 和_.filter，后来也创建了一些新的 applicative 函数。

applicative 编程实用性比较强的原因是，大多数的 JavaScript 应用程序都专注于处理数据集合，无论是数组、对象、对象数组，或是包含数组的对象。把重点放在基本集合类型让我们建立了一套类似 SQL 的工作对一个简单的“表”，从对象的数组构建抽象关系运算符。

下一章将是一个过渡章节，涵盖了变量的作用域和闭包的基本主题。

第 3 章

变量的作用域和闭包

本章介绍变量的作用域，不论是对函数式编程，还是对一般的 JavaScript 编程，这都是一个重要的基础话题。“绑定（binding）”一词指的是通过 var 关键字、函数参数、this 传递，或属性分配给 JavaScript 中的值分配名字的行为。本章首先会谈到动态作用域，如 JavaScript 的 this 引用，接着介绍函数级别的作用域以及它是如何工作的。所有这一切将会引出闭包的讨论，即函数在创建时，捕捉附近变量绑定的讨论。本章会覆盖闭包的机制，及其常用用例。

“作用域（scope）”这个术语在 JavaScript 程序员日常使用中有不同含义。

- this 绑定的值。
- this 绑定的值定义的执行上下文。
- 一个变量的“生命周期”。
- 变量的值解析方案，或词法绑定。

出于本书的目的，我将使用作用域来引出变量值解析方案的一般想法。我将从最简单的全局作用域开始，深入挖掘各类解析方案从而涵盖 JavaScript 提供的所有作用域。

3.1 全局作用域

作用域的外延（extent）是指变量的生命周期（一个变量多长时间内保持一定的值）。我将从拥有最长生命周期的变量——全局变量开始，全局变量的生命周期将跨越整个程序。

在 JavaScript 中，下列变量将具有全局作用域：

```
aGlobalVariable = 'livin la vida global';
```

在 JavaScript 中任何没有用 var 关键字声明的变量都是全局变量，全局变量能被程序中任何函数和方法访问到。注意观察以下代码：

```
_.map(_.range(2), function() { return aGlobalVariable });
//=> ["livin la vida global", "livin la vida global"]
```

变量 aGlobalVariable 在_.map 函数的参数中的匿名函数（创建时未命名的函数）中被访问。全局作用域简单易懂，常用于 JavaScript 程序中（有时影响会很大）。事实上，Underscore 创建了一个包含其所有函数的全局变量_。尽管这样没有命名空间，但 JavaScript 就是这么用的，并且 Underscore 至少给自己留了一个逃生舱口_.noConflict 函数。

对于 JavaScript 变量，有趣的是，它们默认情况下是可变的（mutable）（例如，你可以随时改变它们的值）：

```
aGlobalVariable = 'i drink your milkshake';

aGlobalVariable;
//=> "i drink your milkshake"
```

用全局变量的问题，以及广受非议的原因，就是任何一段代码都可以随意改变它们。这种反常的状态可能会引起之后的一些烦恼。不管怎么样，你都应该清楚全局作用域的危险。然而，将一个变量声明为全局变量的方式不仅仅是将其定义在文件顶部，或是不用 var 声明。任何对象对变化都是开放的（除非它被冻结，我将在第 7 章中讨论）：

```
function makeEmptyObject() {
  return new Object();
}
```

makeEmptyObject 函数正如它的名字那样：创建一个空的对象。我可以随意往该函数返回的对象添加属性，这样的话，任何可以获得该对象的代码都可以对其进行操作。任何可变对象的属性都可以在全局范围内被修改。这样，如果我愿意，可以改变 Underscore 对象中的每个函数，让它们返回字符串' nerf herder '，而且没有人能阻止我这样做。这会给 JavaScript 的函数式编程带来了一定程度的困难。不过，我将在本书中展示如何使用一些方式减轻隐含的全局作用域问题。

全局变量存在于程序整个生命周期，但并不意味着通过其引用就一定能取到值。当我们引入词法作用域（Lexical scope）时，作用域这个话题就更有趣了。

3.2 词法作用域

词法作用域是指一个变量的可见性，及其文本表述的模拟值。例如，看下面的代码：

```
aVariable = "Outer";

function afun() {
  var aVariable = "Middle";

  return _.map([1,2,3], function(e) {
    var aVariable = "In";

    return [aVariable, e].join(' ');
  });
}
```

调用 afun 会输出什么？

```
afun();
//=> ["In 1", "In 2", "In 3"]
```

最内层的变量值 In，优先传递给_.map 函数中的。词法作用域决定了这个结果，是因为赋值 In 到 aVariable 是文本上发生的最近操作，则认为 In 是使用时的值。图 3-1 显示了这种情况的图形化表述。

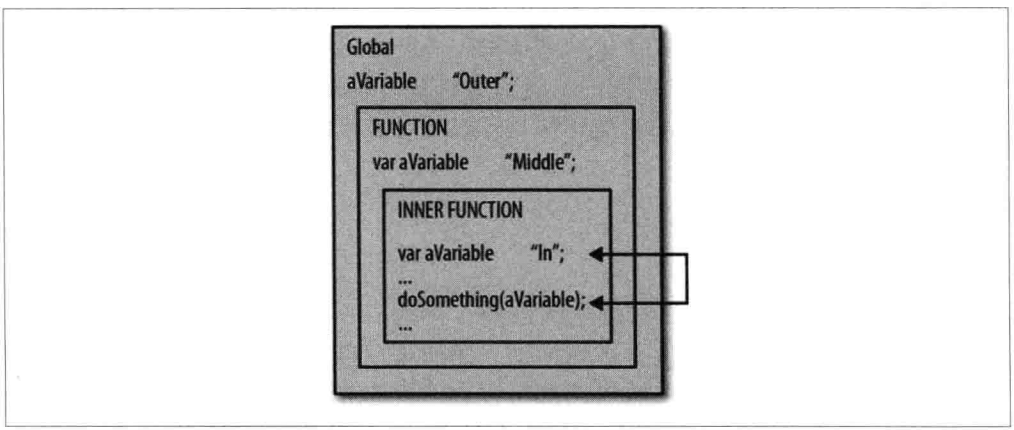


图 3-1 变量查找从最内层范围向外扩展

简单情况下，变量的查找开始于最接近的绑定（binding）上下文而向外扩展，直到找到第一个绑定[①]。图 3-1 描述了词法作用域，就像根据周围的源代码将名称与值

① JavaScript 也提供其他复杂查找的作用域模式，包括 this 解析、函数作用域，以及块。除了最后一个，我将在本书覆盖其他。

分组。本节将会涵盖 JavaScript 所支持的不同查找方案的机制，那么让我们先从动态作用域开始。

3.3 动态作用域

在编程中最容易被低估和过度滥用的概念就是动态作用域。原因是，很少有语言使用的动态作用域作为绑定解析方案。目前只有极少数的现代编程语言使用动态作用域这种简单方案来作为主要的作用域机制，除了 Lisp 语言的最早的版本之外，再没有更广泛的应用了[①]。模拟一个原生的动态作用域机制只需要非常少的代码：

```
var globals = {};
```

首先，动态作用域的基础是值的一个全局表[②]。在任何 JavaScript 引擎的核心中，你都会看到（就算不是这么实现的，也大体都是这个思想）一个查找表：

```
function makeBindFun(resolver) {
  return function(k, v) {
    var stack = globals[k] || [];
    globals[k] = resolver(stack, v);
    return globals;
  };
}
```

有了 globals 和 makeBindFun，我们开始考虑如何增加绑定到 globals 的变量：

```
var stackBinder = makeBindFun(function(stack, v) {
  stack.push(v);
  return stack;
});

var stackUnbinder = makeBindFun(function(stack) {
  stack.pop();
  return stack;
});
```

函数 stackBinder 执行一个非常简单的任务（例如，它需要一个键和值对，并将值推至对应建的全局绑定映射）。动态作用域的核心是维护一个命名绑定栈的全局映射，如图 3-2 所示。

① 想知道早期的 Lisp 如何做的，可以阅读 John McCarthy 写的“Recursive Functions of Symbolic Expressions and Their Computation by Machine, Part I”以及 McCarthy, Abrahams, Edwards, Hart, and Levin 的“LISP 1.5 Programmer's Manual”。

② 这是实现动态作用域的一种方式，而且是比较简单的方式。

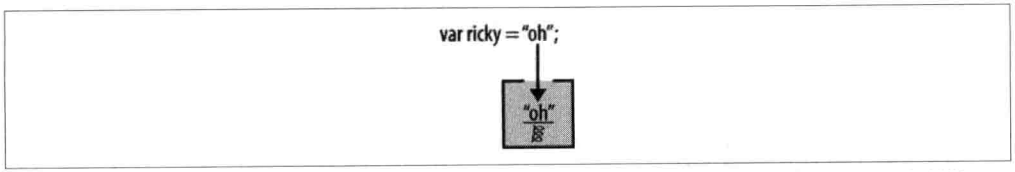


图 3-2　可以想象，任何时候声明的变量都有一个对应的栈来存储其值，栈顶则为动态的值

stackUnbinder 函数是 stackBinder 的逆，它弹出与名字相关联的堆栈顶部的值。最后，我们需要一个函数来查询绑定的值：

```
var dynamicLookup = function(k) {
  var slot = globals[k] || [];
  return _.last(slot);
};
```

dynamicLookup 函数提供一种便捷的方式查询指定值的绑定栈。图 3-3 描述了 this 引用的解析。

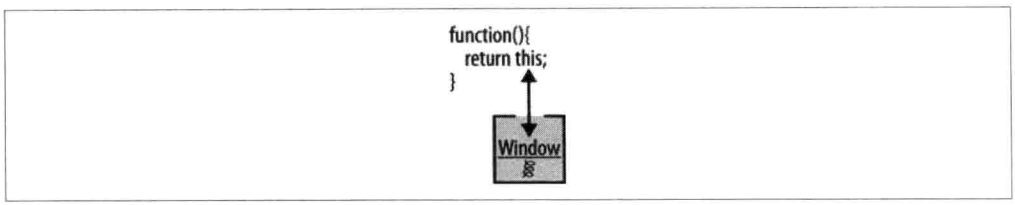


图 3-3　函数引用“this”将指向全局对象（例如，在浏览器的 Window）

既然现在我们有了绑定和查找函数，可以试一下模拟动态作用域：

```
stackBinder('a', 1);
stackBinder('b', 100);

dynamicLookup('a');
//=> 1
globals;
//=> {'a': [1], 'b': [100]}
```

到目前为止，前面的代码可能都正如你所期望的。例如键控阵列 globals 的堆栈，a 和 b 仅绑定一次，堆栈将只有单个值。虽然 dynamicLookup 不能轻易模仿 this 在对象中的方法解析，但可以把它看作入栈操作，如图 3-4 所示。

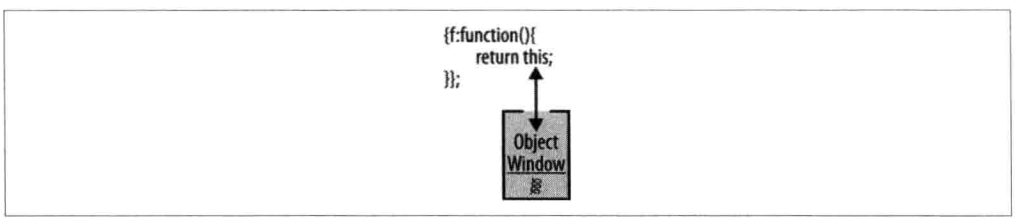


图 3-4　一个对象的方法引用“this”将处理对象本身

在动态作用域的方案中，在栈顶的值是绑定的当前值。如果我们再绑定一次，会发生什么：

```
stackBinder('a', '*');

dynamicLookup('a');
//=> '*'

globals;
//=> {'a': [1, '*'], 'b': [100]}
```

绑定在 a 的新堆栈包含[1, '*']，所以该条件发生的任何查询将会返回* 。需要检索以前的绑定很简单，只要通过解除绑定将其弹出堆栈：

```
stackUnbinder('a');

dynamicLookup('a');
//=> 1
```

你可能已经猜到（或已经知道）像这样一个方案（全局命名栈的操作）可能会导致一些麻烦：

```
function f() { return dynamicLookup('a'); };
function g() { stackBinder('a', 'g'); return f(); };

f();

//=> 1
g();
//=> 'g'

globals;
// {a: [1, "g"], b: [100]}
```

在这里，虽然 f 从来没有操作 a 的绑定 ，但它看起来的值取决于调用的 g 函数！这是动态作用域的缺点：任何给定的绑定的值，在确定调用其函数之前，都是不可知的。

上述代码中另一点值得注意的是，不得不显式地“取消”动态绑定，而在支持动态绑定的编程语言中，这个任务是在关闭动态绑定的上下文中自动完成的。

JavaScript 的动态作用域

本节并不是理论的实践，而是对 JavaScript 中的动态作用域 this 引用的讨论。第 2 章中提到了 this 引用会根据第一次创建时的上下文指向不同的值，但实际情况会更糟。this 引用的值，就像 a 的绑定，也由调用者确定，如以下代码所示：

```
function globalThis() { return this; }

globalThis();
//=> some global object, probably Window

globalThis.call('barnabas');
//=> 'barnabas'

globalThis.apply('orsulak', [])
//=> 'orsulak'
```

是的，this 引用的值是通过 apply 或 call 直接操作的，如图 3-5 所示。也就是说，传入到它们的第一个参数就是被引用的对象。例如 jQuery 库使用这种方式来传递上下文对象和事件目标到一等函数，如果使用得当的话，这是一种很强大的技术。然而，使用动态作用域时很容易混淆 this。

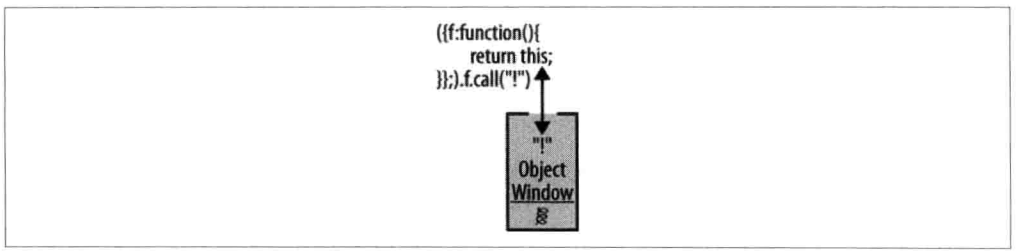


图 3-5　使用 Function#call 调用允许设置“this”引用到一个已知的值

值得庆幸的是，如果 this 引用永远不传递给 call 或 apply，或者如果它被绑定到 null，是不会出现这个问题的。此外，Underscore 提供了_.bind 函数，可以锁定 this 使其不被更改：

```
var nopeThis   = _.bind(globalThis, 'nope');

nopeThis.call('wat');
//=> 'nope';
```

因为 this 引用是动态作用域，你会发现，尤其是在事件处理函数中，如单击按钮时得到的 this 通常是没用的，并可能会破坏你的应用程序。为了解决这样的问题，可以使用_.bindAll 函数来锁定 this 引用到对应的命名函数，如下所示：

```
var target = {name: 'the right value',
              aux: function() { return this.name; },
              act: function() { return this.aux(); }};

target.act.call('wat');
// TypeError: Object [object String] has no method 'aux'

_.bindAll(target, 'aux', 'act');

target.act.call('wat');
//=> 'the right value'
```

这样，Underscore 解除了动态作用域的危险。现在，我已经详细介绍动态作用域，接下来介绍函数作用域。

3.4 函数作用域

为了说明动态作用域与函数作用域的区别，我需要修改绑定和查询的逻辑。不是在全局哈希映射表中访问绑定，而是构造新的模型，使其将所有绑定局限在最小的作业范围内（函数）。这是根据 JavaScript 作用域模型[①]模拟一个函数作用域方案，需要一点想象力。每个 JavaScript 函数可以引用 this。在上一节中，我谈到 this 动态性质的危险性。而是为了说明，我将用它来证明另一个观点。首先，观察 JavaScript 的默认行为：

```
function strangeIdentity(n) {
  // intentionally strange
  for(var i=0; i<n; i++);
  return i;
}

strangeIdentity(138);
//=> 138
```

在 Java 语言中，如果试图访问 for 循环中的局部变量 i ，将引发一个访问错误。然而，在 JavaScript 中，所有在函数体内的 var 声明都会隐式地移到函数的顶部。JavaScript 重新排列变量声明的动作称为吊装（hoisting）。换句话说，前面定义的函数相当于[②]

```
function strangeIdentity(n) {
  var i;
  for(i=0; i<n; i++);
  return i;
}
```

这样做的意义是，函数内定义的变量对函数内任何一段代码都是可见的。不用说，这可能会不时地带来问题，特别是如果不注意变量是如何通过闭包（在下一节讨论）获得的。

在此期间，我可以展示如何使用 this 引用轻松模拟函数作用域：

---

① ECMAScript.next 定义了很多定义“词法”变量作用域的方式。词法作用域与函数作用域非常相似，但绑定更“紧”一些。也就是说，它在 JavaScript 块中绑定时不会把声明提升到函数顶部。我不会深入词法作用域的细节，但此话题值得读者自己研究。

② ECMAScript.next 正在研究提供比函数作用域更细粒度的块作用域规范。目前还不清楚这个特性何时能出现自 JavaScript 内核中。一旦出现，将（但愿能）有助于本书下一版本的解释。

```
function strangerIdentity(n) {
  // intentionally stranger still
  for(this['i'] = 0; this['i']<n; this['i']++);
  return this['i'];
}

strangerIdentity(108);
//=> 108
```

当然，这并不是一个真正的模拟，因为在这种情况下实际上修改了全局对象：

```
i;
//=> 108
```

如果能提供对要操作的函数的暂存空间就更好了。感谢神奇的 this 引用，可以用 call 函数来实现 this 的绑定：

```
strangerIdentity.call({}, 10000);
//=> 10000

i;
//=> 108
```

虽然原来全局 i 仍然存在，至少已经停止修改全局环境，我还是没有给出一个真正的模拟器，因为现在我只能访问函数的局部变量。但是，没有任何理由使用一个空的对象传递上下文。事实上，对于这个伪造出来的 JavaScript，使用全局（但不直接）传递上下文似乎更合适。clone 正好可以解决：

```
function f () {
  this['a'] = 200;
  return this['a'] + this['b'];
}

var globals = {'b': 2};

f.call(_.clone(globals));
//=> 202
```

检查全局上下文是否被污染：

```
globals;
//=> {'b': 2}
```

用这个模型来运作的函数作用域似乎很合理。确实，JavaScript 就是这么做的，除了变量访问是在函数体内隐式地进行，而不需要显式地在 this 中查找。不管你现在对函数作用域是怎么想的，至少 JavaScript 的底层机制已经帮我们打理好了一切。

3.5 闭包

闭包是 JavaScript 的一大谜团。最近的一项调查显示，有关 JavaScript 的闭包的博

客文章占 23%左右[①]。闭包，无论出于何种原因，对于相当数量的程序员仍是一个谜。在本节中，我需要一些时间来仔细讲解 JavaScript 的闭包。幸运的是，它其实是很简单的。事实上，在本节中，我将建立一个小型的库来模拟作用域规则和闭包。我将使用这个库来探索这一章的细节，包括全局作用域、函数作用域、自由变量以及闭包。

开始之前，值得一提的是，闭包与一等函数是齐头并进的。虽然没有一等函数的语言也能支持闭包，但往往有很大阻碍。值得庆幸的是，JavaScript 是支持一等函数的，所以它的闭包可以以强大的方式来绕过临时封装状态。

备注

在本章和下一章中，我将所有由闭包捕获的变量大写。这并不是 JavaScript 的标准实践，也不鼓励这样做，这里只是为了方便教学。这两章过后，我将不再使用这个约定。

闭包是一个函数，该函数在生成时会“捕获”附近的值。图 3-6 是闭包的图形表示。

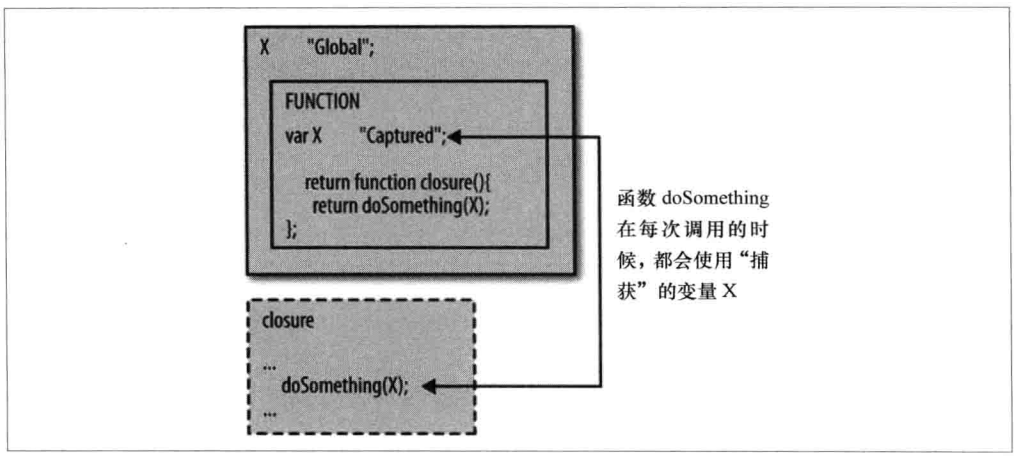


图 3-6 闭包是生成时会“捕获”附近的值的函数

在接下来的几节中，我会从一个闭包模拟器开始，深入闭包。

3.5.1 模拟闭包

经历了 30 年，闭包终于成为主流的编程语言的主要特点。什么是闭包？一句话概括：闭包就是一个函数，捕获作用域内的外部绑定（例如，不是自己的参数）。这些绑定是为之后使用（即使在该作用域已结束）而被定义的。

① 如果算上 Hacker News（译者注：Y Combinator 创建的关于计算机黑客和创业公司的社交新闻网站）中的讨论，这个数值会接近 36%。我并没有这个数值的证据，只是为了好玩编造出来的。

在我们进一步模拟闭包之前，先来看看它们的默认行为。闭包的最简单的例子是一等函数，捕获局部变量供以后使用：

```
function whatWasTheLocal() {
  var CAPTURED = "Oh hai";

  return function() {
    return "The local was: " + CAPTURED;
  };
}
```

使用 whatWasTheLocal 函数：

```
var reportLocal = whatWasTheLocal();
```

我已经谈到了函数的局部变量的生命周期只限于在函数体内，但是当一个闭包捕获这个变量，它在一定程度上还能继续存在[①]。

```
reportLocal();
//=> "The local was: Oh hai"
```

如此看来，局部变量 CAPTURED 好像能够通过 whatWasTheLocal 返回的闭包被得到，实际上就是这么回事。但局部变量并不是唯一可以捕获的东西。函数参数也是可以被捕获的：

```
function createScaleFunction(FACTOR) {
  return function(v) {
    return _.map(v, function(n) {
      return (n * FACTOR);
    });
  };
}

var scale10 = createScaleFunction(10);

scale10([1,2,3]);
//=> [10, 20, 30]
```

函数 createScaleFunction 需要一个比例因子，并返回一个函数，给定数字集合，返回其元素与缩放因子乘积的列表。你可能已经注意到了，一旦 createScaleFunction 函数退出，返回的函数引用的变量 FACTOR 似乎超出范围。这种观察只是部分正确，因为事实上，该变量 FACTOR 被保持在返回的缩放函数的主体内，并能在该函数被调用时访问。这个变量保存恰恰就是闭包的定义。

那么，如何用我们上一节的函数作用范围的 this 暂存器来模拟闭包呢？首先，我需

① 闭包犹如编程语言中的吸血鬼，他们捕获部下并给其永久的生命，知道自己被摧毁。唯一的区别在于，闭包不会在阳光下化为灰烬。

要设计一个捕获已封闭变量的方法，并使其保持跟正常变量一样不被关闭。最直接的方式是拿到外函数的变量并绑定到返回函数的 this，如下所示：

```
function createWeirdScaleFunction(FACTOR) {
  return function(v) {
    this['FACTOR'] = FACTOR;
    var captures = this;

    return _.map(v, _.bind(function(n) {
      return (n * this['FACTOR']);
    }, captures));
  };
}

var scale10 = createWeirdScaleFunction(10);

scale10.call({}, [5,6,7]);
//=> [50, 60, 70];
```

决定需要跟踪内部函数中的哪些变量似乎非常棘手。如果像这个例子一样需要手动跟踪，那么 JavaScript 的编写将极其困难[①]。值得庆幸的是，JavaScript 的变量捕获是自动的，且可以直接使用。

1. 自由变量

自由变量与闭包的关系是，自由变量闭合于闭包的创建。闭包背后的基本原理是，如果一个函数包含内部函数，那么它们都可以看到其中声明的变量；这些变量被称为“自由”变量[②]。然而，这些变量可以被内部函数捕获，从高阶函数中 return 实现“越狱”，以供以后使用[③]。唯一需要注意的是，捕获函数必须在外部函数内定义。函数内在没有任何局部声明之前（既不是被传入，也不是局部声明）使用的变量就是被捕获的变量。注意观察：

```
function makeAdder(CAPTURED) {
  return function(free) {
    return free + CAPTURED;
  };
}

var add10 = makeAdder(10);

add10(32);
//=> 42
```

① 我可以直接引用 captures 而不是通过 Underscore 的 bind 方法动态地传递到内部函数 map，但这样做的话，我就相当于作弊，是用闭包来模拟闭包了。

② 这里的 free 不是免费啤酒中免费的意思，也不是自由的意思，而是相当于小偷偷来的“免费”（译者注：此处应当就是自由的意思，因为 free 和 CAPTURED 分别对应于数学中的自由变量和约束变量。读者可以注意例子中的 add 10 其实是把 CAPTURED 固定了，而 add 10 的参数可以是任意的。）

③ 返回另一个函数的函数叫做高阶函数，在第 4 章中我会深入介绍。

外部函数中的变量 CAPTURED 被执行加法的返回函数捕获，因为内部函数从未声明过 CAPTURED ，而只是引用了它。之后，从 makeAdder 中创建并返回的函数保留了变量 CAPTURED，并用它进行加法运算。创建另一个加法器将捕捉到同名变量 CAPTURED，但有不同的值，因为它是在调用 makeAdder 之后被创建：

```
var add1024 = makeAdder(1024);
add1024(11);
//=> 1035

add10(98);
//=> 108
```

最后，如上述代码所示，每一个新的加法器函数都保留了自己创建时捕获的 CAPTURED 实例。捕捉到的值可以是任何类型，包括函数。下面这个函数 averageDamp，捕获一个函数，并返回一个计算该函数结果与另一个值的平均值函数[①]。

```
function averageDamp(FUN) {
  return function(n) {
    return average([n, FUN(n)]);
  }
}

var averageSq = averageDamp(function(n) { return n * n });
averageSq(10);
//=> 55
```

捕获其他函数的高阶函数是构建抽象的强大技术。我将在本书中继续使用这种技术。

如果你用与更高层的作用域的变量同名的变量创建函数，会发生什么？我将简要地谈谈这个话题。

2. 遮蔽（Shadowing）

在 JavaScript 中，当变量 x 在一定作用域内声明，然后另一个同名变量在一个较低的作用域声明，会发生变量的遮蔽。下面来看遮蔽的一个简单的例子：

```
var name = "Fogus";
var name = "Renamed";

name;
//=> "Renamed"
```

两个连续的同名声明，分配第二个值的变量应该是毫不奇怪。然而，函数参数的遮

① 我在第 2 章中定义的 average。

蔽就相对复杂：

```
var shadowed = 0;

function argShadow(shadowed) {
  return ["Value is", shadowed].join(' ');
}
```

调用 argShadow(108)函数的返回值是什么？注意：

```
argShadow(108)
//=> "Value is 108"

argShadow();
//=> "Value is "
```

函数 argShadow 的参数 shadowed 覆盖了全局作用域内的同名变量。即使没有传递任何参数，仍然还是绑定 shadowed。在任何情况下，离得“最近”的变量绑定优先最高。例如：

```
var shadowed = 0;

function varShadow(shadowed) {
  var shadowed = 4320000;
  return ["Value is", shadowed].join(' ');
}
```

如果你猜 varShadow(108)的返回值是“ Value is 4320000 ”，那就对了。遮蔽变量同样发生在闭包内，如下所示：

```
function captureShadow(SHADOWED) {
  return function(SHADOWED) {
    return SHADOWED + 1;
  };
}

var closureShadow = captureShadow(108);

closureShadow(2);
//=> 3 (it would stink if I were expecting 109 here)
```

我倾向于编写 JavaScript 代码时避免遮掩变量，所以需要注意变量命名。如果命名不小心，那么可能会造成混淆。在结束本章前，我将快速介绍一些闭包用法的示例。

3.5.2 使用闭包

在本节中，我将简要介绍闭包的用法。由于本书的后续部分将广泛使用闭包，没有必要过度讨论，所以这里只展示几个有用的例子。

如果你回想一下 Applicative 编程的例子，complement 函数接受一个谓词，并返

回一个反转谓词结果的函数。当时没有点明，其实 complement 已经将闭包用到了极致：

```
function complement(PRED) {
  return function() {
    return !PRED.apply(null, _.toArray(arguments));
  };
}
```

谓词函数 PRED 被返回的函数捕获。例如一个判断偶数的谓词函数：

```
function isEven(n) { return (n%2) === 0 }
```

我们可以用 complement 来定义判断奇数的函数 isOdd：

```
var isOdd = complement(isEven);

isOdd(2);
//=> false

isOdd(413);
//=> true
```

但如果 isEven 之后发生了变化呢？

```
function isEven(n) { return false }

isEven(10);
//=> false
```

是否会改变 isOdd 的行为呢？注意：

```
isOdd(13);
//=> true;

isOdd(12);
//=> false
```

正如你所看到的，变量的捕获发生在创建闭包的时候（这个例子里的 PRED ）。因为我通过一个新的变量创建了新的 isEven 引用，所以这种变化是不会被 isOdd 察觉的。让我们运行下列代码：

```
function showObject(OBJ) {
  return function() {
    return OBJ;
  };
}

var o = {a: 42};
var show0 = showObject(o);

show0();
//=> {a: 42};
```

好像都对，不是吗？不完全是：

```
o.newField = 108;
showO();
//=> {a: 42, newField: 108};
```

由于 o 的引用同时存在于闭包内部和外部，它的变化可以跨越看似私有的界限。这很容易导致混乱，所以通常的使用情况是最大限度地减少暴露捕获变量的风险。JavaScript 经常使用下面这种模式，把捕获的变量作为私有数据：

```
var pingpong = (function() {
  var PRIVATE = 0;

  return {
    inc: function(n) {
      return PRIVATE += n;
    },
    dec: function(n) {
      return PRIVATE -= n;
    }
  };
})();
```

对象 pingpong 是由作为块作用域的匿名函数构建，并包含两个闭包 inc 和 dec。最有趣的部分是，捕获的变量 PRIVATE 是这两个闭包的私有变量，除了通过调用这两个函数之一，无法通过任何手段进行访问：

```
pingpong.inc(10);
//=> 10

pingpong.dec(7);
//=> 3
```

甚至添加其他函数也是安全的：

```
pingpong.div = function(n) { return PRIVATE / n };

pingpong.div(3);
// ReferenceError: PRIVATE is not defined
```

通过这种闭包模式提供访问保护是一个强大的技术，能使 JavaScript 程序员在应对软件复杂性时保持头脑清楚。

3.5.3 闭包的抽象

闭包为 JavaScript 提供了私有访问，这是一种提供抽象的好方法（例如闭包允许你在创建函数时做一些“配置”）。makeAdder 和 complement 的实现就是关于这个技术很好的例子。另一个例子是一个名为 plucker 的函数，接收一个键并将其传给一个关联结构，如数组或对象，并返回给定的结构，返回键值的函数。具体实现如下：

```
function plucker(FIELD) {
  return function(obj) {
    return (obj && obj[FIELD]);
  };
}
```

通过测试这个实现可以看出其行为：

```
var best = {title: "Infinite Jest", author: "DFW"};

var getTitle = plucker('title');

getTitle(best);
//=> "Infinite Jest"
```

正如我所提到的，plucker 也可以操作数组：

```
var books = [{title: "Chthon"}, {stars: 5}, {title: "Botchan"}];

var third = plucker(2);

third(books);
//=> {title: "Botchan"}
```

plucker 与_.filter 一起使用很方便。下例是从数组抓取对象的给定字段：

```
_.filter(books, getTitle);
//=> [{title: "Chthon"}, {title: "Botchan"}]
```

本书的后续过程中，我将会探讨闭包的其他用途与优点。现在我觉得已经奠定了足够的基础。

3.6 总结

本章主要集中在一般函数式编程两个基本的主题：变量作用域和闭包。

从变量的全局作用域开始，逐步引入词法作用域和函数作用域的工作方式。另外，还介绍了动态作用域，特别是使用的 call 和 apply 方法，体现了 this 引用的使用与行为。这样可能会造成混乱，但可以通过 Underscore 的_.bind 和_.bindAll 函数固定 this 绑定到一个固定值。

本章还模拟了 JavaScript 的闭包，包括动态 this 引用。之后，除了展示如何在自己的函数中使用闭包，还展示了如何使用闭包“调整”现有的函数，从而实现新的功能的抽象。

在下一章中，我将再扩展一等函数并深入高阶函数，可以通过这些点来定义高阶函数。

- 可以传递给其他函数的函数。
- 可以从函数返回的函数。

如果你还不清楚这章的内容，那么最好在进入下一章之前回去重读一下。许多高阶函数的强大之处都与变量作用域，尤其是闭包密切相关。

第 4 章

高阶函数

本章在第 3 章的基础上，对函数是一等元素的说法进行扩展。也就是说，本章将解释函数不仅可以保存在数据结构中，并以数据的形式来传递，也可以从函数中返回。对这些“高阶”函数的讨论将是本章的主要内容。

高阶函数遵循一个非常明确的定义。

- 它是一等公民（如果需要复习这个话题，请回到第 2 章）。
- 以一个函数作为参数。
- 以一个函数作为返回结果。

前面我们已经演示了很多以其他函数作为参数的函数，但这是一个值得深入探索的领域，特别是因为函数式编程风格是它的明显优势。

4.1 以其他函数为参数的函数

我们已经看到很多以其他函数为参数的函数，其中最突出的当属_.map，_.reduce 和_.filter。所有这些函数遵循高阶函数的定义。然而，简单地展示几个用法不足以说明以函数为参数的函数在函数式编程中的重要性。所以，我会花一些时间更多地讨论以函数为参数的函数，并与闭包的讨论一起进行练习。再次，每当所展示的代码用到闭包时，我会将被捕获的变量名大写。值得重申的是，将被捕获的变量名大写不是推荐的做法，只是在本书的写作中加以区分。

4.1.1 关于传递函数的思考：max、finder 和 best

在讨论以函数为参数的函数之初，我们有必要来看几个例子。很多编程语言甚至是一些核心库，都包括一个称为 max 的函数，用来找到一个列表或数组中的最大值（通常是一个数字）。事实上，Underscore 本身也有这样的函数，执行如下代码：

```
_.max([1, 2, 3, 4, 5]);
//=> 5

_.max([1, 2, 3, 4.75, 4.5])
//=> 4.75
```

执行结果并没有什么奇怪，但是这个特定的用例中存在一个限制。就是说，如果我们想从一个不是数字数组的对象中找到最大值，该怎么办？值得庆幸的是，_.max 是一个高阶函数，它接受一个可选的第二个参数。你可能已经猜到了，这第二个参数是用来从被比较对象中获得一个数值的函数[①]。例如

```
var people = [{name: "Fred", age: 65}, {name: "Lucy", age: 36}];

_.max(people, function(p) { return p.age });

//=> {name: "Fred", age: 65}
```

这是一个非常有用的函数构建方法，因为相对于比较数值，_.max 提供了比较任意对象的方法。但是，在某些方面，这个函数仍然是受限的，并不是真正的函数式。具体说来，对_.max 而言，比较总是需要通过大于运算符（ > ）来完成。

不过，我们可以创建一个新的函数 finder。它接收两个函数：一个用来生成可比较的值，而另一个用来比较两个值并返回当中的“最佳”值。finder 的实现如下所示：

```
function finder(valueFun, bestFun, coll) {
  return _.reduce(coll, function(best, current) {
    var bestValue = valueFun(best);
    var currentValue = valueFun(current);

    return (bestValue === bestFun(bestValue, currentValue)) ? best : current;
  });
}
```

现在，使用 finder 函数，可以模拟 Underscore 的_.max 操作：

```
finder(_.identity, Math.max, [1,2,3,4,5]);

//=> 5
```

你应该注意到了例子中使用了便利的_.identity 函数，它只是单纯地接收一个值，并返回该值。似乎有点没用，对不对？也许吧。但是在函数式编程领域，我们需要从

① 与 Underscore 的 min 函数类似。

函数的角度来思考问题，即便在最佳值就是该值本身的情况下。

在任何情况下，我们现在都可以用 finder 来找到不同类型的“最佳”值：

```
finder(plucker('age'), Math.max, people);

//=> {name: "Fred", age: 65}

finder(plucker('name'),
       function(x,y) { return (x.charAt(0) === "L") ? x : y },
       people);

//=> {name: "Lucy", age: 36}
```

看起来这个功能更喜欢以字母 L 开头的名字。

缩减一点

函数 finder 的实现短小精干，并且能按照我们的预期来工作。但为了满足最大程度的灵活性，它重复了一些逻辑。请注意在 finder 实现中与比较最佳值的高阶函数中的比较逻辑：

```
// in finder
return (bestValue === bestFun(bestValue, currentValue)) ? best : current);

// in the best-value function
return (x.charAt(0) === "L") ? x : y;
```

你会发现，这两个逻辑是完全相同的。也就是说，这两种算法都返回最佳值或当前值。finder 的实现可以根据以下两个假设来缩减。

- 如果第一个参数比第二个参数“更好”，比较最佳值的函数返回 true。
- 比较最佳值的函数知道如何“分解”它的参数。

在这些假设基础之上，我们可以用以下方式实现一个更简洁的 best 函数（Graham，1993）：

```
function best(fun, coll) {
  return _.reduce(coll, function(x, y) {
    return fun(x, y) ? x : y
  });
}
best(function(x,y) { return x > y }, [1,2,3,4,5]);
//=> 5
```

删除重复逻辑之后，我们有了一个更严格、更优雅的解决方案。事实上，前面的例子再次表明，best(function(x,y) { return x > y }, ...)提供了与 Underscore 的_.max 甚至是 Math.max.apply(null, [1,2,3,4,5])相同的模式。第 5 章将讨论函数式程序员如何通过抓取这类模式来创建一套合适有用的函数，所以现在我会推迟这个话题的讨论，

而是将重点放在高阶函数上。

4.1.2 关于传递函数的更多思考：重复、反复和条件迭代（iterateUntil）

在上一节中，我创建了一个接收两个函数的函数 finder。正如前面所看到的，以两个函数为参数（一个用来解析数据，另一个用来进行比较），对简化函数 best 来说是大材小用。事实上，你会发现，在 JavaScript 中，创建以多个函数为参数的函数常常会显得大材小用。然而，正如我下面将要讨论的一样，在某些情况下，这样做是完全合理的。

去除 finder 多余的参数是因为，根据对 best 函数所给出的假设，这里对两个函数参数的需求被取消了。然而，在某些情况下给一个算法设立假设是不恰当的。

我将逐个介绍三个相关的函数，并在这个过程中讨论如何将它们变得更加通用（以及最佳折中方案）。

首先，让我们从一个很简单的函数 repeat 开始。它以一个数字和一个值为参数，将该值进行多次复制，并放入一个数组当中：

```
function repeat(times, VALUE) {
  return _.map(_.range(times), function() { return VALUE; });
}

repeat(4, "Major");
//=> ["Major", "Major", "Major", "Major"]
```

repeat 的实现使用_.map 函数来遍历从 0 到 times−1 的数组，并将 VALUE 丢到数组中。你会发现，里面的匿名函数使用了 VALUE 变量，但是目前这不是很重要（也不是很有趣）。目前有很多可以替代_.map 来实现上面的功能的函数，但这里我主要用它来强调一个很重要的观点，可概括为“使用函数，而不是值”。

1. 使用函数，而不是值

将 repeat 的实现隔离出来不是一件坏事。然而，作为“repeatness”的常规实现方法，它的实现仍然有提高的空间。也就是说，当一个函数将一个值重复多次是可以的，但将运算重复多次则更好。我略微地修改了一下 repeat，按如下方式来执行：

```
function repeatedly(times, fun) {
  return _.map(_.range(times), fun);
}

repeatedly(3, function() {
  return Math.floor((Math.random()*10)+1);
});
//=> [1, 3, 8]
```

函数 repeatedly 是展示函数式思维方式力量的一个很好的例证。通过将参数从值替换为函数，我给“repeatness”打开了一个充满可能性的世界。与 repeat 类似，在调用端，我们可以用一个可以填充任何东西的数组来替换一个固定的值。如果我们真的想在 repeatedly 中用常量，那么我们只需要执行以下操作：

```
repeatedly(3, function() { return "Odelay!"; });

//=> ["Odelay!", "Odelay!", "Odelay!"]
```

事实上，该模式是一个无论其参数是什么都返回常量的函数的例子，此类函数将多次出现在本书以及其他外界的函数库当中。我将在下一节以及第 5 章中进行更多的讨论。

你会发现，我未能一一列出能够提供给 repeatedly 函数的所有参数。但这是权宜之计，因为我选择了不使用传入的参数。事实上，由于 repeatedly 的实现是对_.range 结果进行_.map 应用到函数上，因此函数可以接收到当前重复的次数。我发现这种技术在用来生成一些已知数量的 DOM 节点时非常有用，其中每个节点都用带计数值的 id，如下所示：

```
repeatedly(3, function(n) {
  var id = 'id' + n;
  $('body').append($("<p>Odelay!</p>").attr('id', id));
  return id;
});

// Page now has three Odelays
//=> ["id0", "id1", "id2"]
```

如上所示，我使用了 jQuery 库来添加一些节点。这是完全合法的使用方式，但它对函数之外的“世界”进行了修改。在第 7 章我会讨论为什么这是一个潜在问题，但现在我想让 repeatedly 更加通用一些。

2．再次强调，“使用函数，而不是值”

我已经将一个在 repeat 中使用静态值的函数变成了接收一个函数的 repeatedly 函数。虽然这确实使 repeatedly 更加开放，但它的通用性仍然没有达到期望。我们仍然需要一个确定需要调用给定的函数多少次的数值。我们常常会准确地知道函数应该被调用多少次，但有时候也知道什么时候退出并不取决于“次数”，而是条件。换句话说，你可能需要不断调用一个函数，直到它的返回值超过了某个阈值，或改变了符号，或变为大写等，这样一来，一个简单的值是远远不够的。相反，我可以定义另一个名为 iterateUntil 的函数，它称得上 repeat 和 repeatedly 合乎逻辑的进化；实现如下所示：

```
function iterateUntil(fun, check, init) {
  var ret = [];
  var result = fun(init);

  while (check(result)) {
    ret.push(result);
    result = fun(result);
  }

  return ret;
};
```

函数 iterateUntil 接收两个函数：一个用来执行一些动作，另外一个用来进行结果检查，当结果满足“结束”值时返回 false。这算得上是真正将 repeatedly 带到了一个新的水平，现在甚至连重复次数都是开放的，受到一个函数执行结果的影响。那么，该如何使用 iterateUntil 呢？一种简单的用法是收集一些重复计算的结果，直到值超过某个阈值。例如，假设你想找到所有大于 2 小于 1024 的 2 的倍数：

```
iterateUntil(function(n) { return n+n },
             function(n) { return n <= 1024 },
             1);

//=> [2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024]
```

正如你所知，在使用 repeatedly 来实现相同的功能之前，为了得到正确的结果数组，需要提前确定调用我们的函数的次数：

```
repeatedly(10, function(exp) { return Math.pow(2,exp+1) });

//=> [2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024]
```

有时候，你可能知道需要计算多少次，但有时你只知道计算何时停止。iterateUntil 提供的另外一个优点是，循环体是一个前馈函数。换句话说，一些函数的执行结果被当作下一个函数的参数。我将会在“管道（Pipelining）”一节展示这种条件结束的强大，不过现在我们先继续下一节的内容，来谈谈返回其他函数的函数。

4.2 返回其他函数的函数

你已经看到了几个以函数为返回结果的函数—— makeAdder、complement 和 plucker。你可能已经猜到了，所有这些函数都是高阶函数。在本节中，我将更深入地讨论并了解返回（或接收）函数和闭包的高阶函数。我们以回忆 repeatedly 作为开始：它使用了一个忽略其参数并仅仅返回一个常量的函数：

```
repeatedly(3, function() { return "Odelay!"; });

//=> ["Odelay!", "Odelay!", "Odelay!"]
```

这种返回一个常量的函数非常有用，所以几乎是函数式编程的一个设计模式，经常被简称为 k 。然而，为了清晰起见，我称它为 always；其实现方式如下所示：

```
function always(VALUE) {
  return function() {
    return VALUE;
  };
};
```

always 的行为可以用来解释闭包的一些关键点。首先，闭包会捕获一个值（或引用），并多次返回相同的值：

```
var f = always(function(){});

f() === f();
//=> true
```

因为该函数总是产生一个确定的值，你可以看到，从每次调用 always 而得到的与 VALUE 绑定的函数始终都是相同的（Braithwaite，2013）。

任何一个用 function 创建的函数都会返回一个特定的实例，无论它的函数体是什么。使用(function(){})是一种确保生成特定值的简便方法。请记住，闭包的第二个重点是，每一个新的闭包都会捕获不一样的值：

```
var g = always(function(){});

f() === g();
//=> false
```

使用闭包时牢记这两个规则，可以帮助我们避免混淆。

接下来，用 always 来替换之前的匿名函数，会更加简洁一些：

```
repeatedly(3, always("Odelay!"));

//=> ["Odelay!", "Odelay!", "Odelay!"]
```

像 always 这样的函数被称为组合子（combinator）。这本书不会过分专注于组合子，从某种程度上讲，它是值得涵盖的话题，因为你会在函数式风格的代码库中见到它们。不过，我会将这个问题的讨论推迟到第 5 章；现在，我将会展示更多的以函数为返回值的函数，特别专注于闭包是如何推动这种方法的。

然而，在继续下面的内容之前，我会展示另一种以函数为返回值的函数的实现，invoker：接收一个方法，并在任何给定的对象上调用它。如下所示：

```
function invoker (NAME, METHOD) {
  return function(target /* args ... */) {
    if (!existy(target)) fail("Must provide a target");
```

```
    var targetMethod = target[NAME];
    var args = _.rest(arguments);

    return doWhen((existy(targetMethod) && METHOD === targetMethod), function() {
      return targetMethod.apply(target, args);
    });
  };
};
```

invoker 的形式与 always 非常像；也就是说，它在后续调用中使用了一个原始参数：METHOD。在这种情况下，返回的函数是一个闭包。然而，与返回常量不同，invoker 在原始调用基础上执行了一系列特殊操作。invoker 的使用如下所示：

```
var rev = invoker('reverse', Array.prototype.reverse);

_.map([[1,2,3]], rev);
//=> [[3,2,1]]
```

虽然直接对一个实例执行特定方法是完全合法的，但函数式的风格更倾向于将调用对象作为参数。invoker 会在一个对象不包含给定方法时返回 undefined，这样可以使用 JavaScript 天然的多态性来构建多态函数。不过，我将在第 5 章再来讨论。

4.2.1 高阶函数捕获参数

另一个为什么你可能需要创建一个以函数为返回值的函数的理由是，高阶函数的参数是用来“配置”返回函数的行为的。对于高阶函数 makeAdder 而言，它的参数配置了其返回函数每次添加数值的大小。注意观察以下代码：

```
var add100 = makeAdder(100);
add100(38);
//=> 138
```

具体来说，通过将函数 makeAdder 的返回函数命名为 add100，这里特别强调了返回函数是如何被“配置”的。也就是说，它的配置是始终向传入的任何值加 100。这是一个非常有用的技术，但其能力有限。不同的是，你会经常看到一个函数返回了一个捕获变量的函数，而这正是我现在要讨论的内容。

4.2.2 捕获变量的好处

假设你需要一个能够生成唯一字符串的函数。实现可能如下所示[①]。

```
function uniqueString(len) {
  return Math.random().toString(36).substr(2, len);
};

uniqueString(10);
//=> "3rm6ww5w0x"
```

① 实际上能保证产生唯一的字符串，但我希望的意图是明确的。

然而，如果需要生成具有特定前缀的唯一字符串，该怎么办？可将 uniqueString 修改为：

```
function uniqueString(prefix) {
  return [prefix, new Date().getTime()].join('');
};

uniqueString("argento");
//=> "argento1356107740868"
```

新 uniqueString 似乎可以工作。但是，如果需要再次变更，需要返回一个添加了前缀，并且后缀从某一个值开始增长的字符串，该怎么办？在这种情况下，函数应该像下面这样工作：

```
uniqueString("ghosts");
//=> "ghosts0"

uniqueString("turkey");
//=> "turkey1"
```

新的实现可以用闭包来捕获增加值，并用作后缀：

```
function makeUniqueStringFunction(start) {
  var COUNTER = start;

  return function(prefix) {
    return [prefix, COUNTER++].join('');
  }
};

var uniqueString = makeUniqueStringFunction(0);

uniqueString("dari");
//=> "dari0"

uniqueString("dari");
//=> "dari1"
```

对于 makeUniqueStringFunction 函数，变量 COUNTER 被函数返回并捕获。这似乎工作得很好，但我们能不能在一个对象上实现相同的功能？例如：

```
var generator = {
  count: 0,
  uniqueString: function(prefix) {
    return [prefix, this.count++].join('');
  }
};

generator.uniqueString("bohr");
//=> bohr0

generator.uniqueString("bohr");
//=> bohr1
```

但它有一个缺点（除了它不是函数式），即不够安全：

```
// reassign the count
generator.count = "gotcha";
generator.uniqueString("bohr");
//=> "bohrNaN"
// dynamically bind this
generator.uniqueString.call({count: 1337}, "bohr");
//=> "bohr1337"
```

此时，事实上你的系统处于一个危险的状态。makeUniqueStringFunction 所使用的方法隐藏了 COUNTER。也就是说，COUNTER 变量是返回闭包“私有”的。现在，我并不是在讲究私有变量和对象属性，但有时候隐藏关键实现细节是很重要的。事实上，我们可以使用 JavaScript 的秘密武器将 COUNTER 隐藏在 generator 中：

```
var omgenerator = (function(init) {
  var COUNTER = init;

  return {
    uniqueString: function(prefix) {
      return [prefix, COUNTER++].join('');
    }
  };
})(0);

omgenerator.uniqueString("lichking-");
//=> "lichking-0"
```

但这有什么意义呢？创建这样奇怪的实现有时是必要的，特别是在建立模块/命名空间时，但它不是我想使用的方法[①]。闭包的方式很干净、简单，并且很优雅，但它也充满了陷阱。

改变值时要小心

我打算在第 7 章更细致地讨论改变变量的危险性，但现在我可以花点时间简单介绍一下。makeUniqueStringFunction 使用了名为 COUNTER 的变量来追踪当前值。虽然对于外界操作来说，该变量是安全的，但它的存在会增加复杂度。当一个函数的返回值只依赖于它的参数时，被称为具有引用透明（referential transparency）。

这似乎是一个很花哨的名词，但它只是意味着你应该能够在不破坏自己代码的情况下，用预期值来替换一个函数的任意调用。当你使用一个会改变内部代码的闭包时，你不一定能做到这一点，因为它返回的值是完全依赖于它的调用次数的。也就是说，调用 uniqueString10 次所返回的值与调用 10 000 次所返回的值是不同的。用值来替

① ECMAScript.next 正准备努力通过模块系统，用简单的声明来处理可见性问题。更多信息请参考 http://wiki.ecmascript.org/doku.php?id=harmony:modules。

换 uniqueString 的唯一方法是，你确切地知道它会在任意时间点被调用多少次，但这是不可能的。

再次说明，我会在第 7 章对这个问题进行更多的讨论，但值得指出的是，我会避免类似于 makeUniqueStringFunctions 这样的函数，除非它们是绝对必要的。相反，我觉得你会惊讶地发现在函数式编程中对状态改变的要求甚少。在第一次面对设计函数式程序时，你需要时间来改变你的思维定式，但我希望在读完这本书后，你会对为什么一个可变的状态是有潜在危险的有更好的理解，并且你会努力去避免它。

4.2.3 防止不存在的函数：fnull

在进入第 5 章之前，我想创建几个高阶函数作为例子。我们要讨论的第一个高阶函数叫作 fnull。为了描述 fnull 的目的，我想展示一些它想要解决的错误。假设我们有一组需要执行乘法的数字数组：

```
var nums = [1,2,3,null,5];

_.reduce(nums, function(total, n) { return total * n });
//=> 0
```

很明显，乘以 null 是不会给我们任何有用的答案的。另一个有问题的场景是：一个函数接收一个配置对象作为输入来执行一些动作：

```
doSomething({whoCares: 42, critical: null});
// explodes
```

在这两种情况下，有一个 fnull 函数将是很有用的。fnull 接收一个函数及一些额外的参数，并返回一个只是调用给定的原始函数的函数。fnull 神奇的地方在于，对于任何是 null 或 undefined 的参数，都用原来“默认”的参数来代替。这里将要展示的 fnull 是实现最为复杂的高阶函数，但它仍然是相当合理的。注意观察以下代码：

```
function fnull(fun /*, defaults */) {
  var defaults = _.rest(arguments);

  return function(/* args */) {
    var args = _.map(arguments, function(e, i) {
      return existy(e) ? e : defaults[i];
    });

    return fun.apply(null, args);
  };
};
```

fnull 的工作原理是，检查进来的参数是否是 null 或 undefined，如果是则用默认值

来替换，然后再调用函数。fnull 的一个特别有趣的地方是，只有在守卫函数被调用时，用来遍历默认值的成本才会产生。也就是说，分配默认值是以懒惰方式完成的，只在需要的时候发生。

你可以用以下方式使用 fnull：

```
var safeMult = fnull(function(total, n) { return total * n }, 1, 1);

_.reduce(nums, safeMult);
//=> 30
```

使用 fnull 来创建 safeMult 函数可以防止其受 null 或 undefined 影响。这也带来了另一个好处：能够在没有给出参数时得到一个确定值的乘法函数。

为了解决配置对象的问题，可以通过以下方式来使用 fnull：

```
function defaults(d) {
  return function(o, k) {
    var val = fnull(_.identity, d[k]);
    return o && val(o[k]);
  };
}

function doSomething(config) {
  var lookup = defaults({critical: 108});

  return lookup(config, 'critical');
}

doSomething({critical: 9});
//=> 9

doSomething({});
//=> 108
```

对于任何给定的配置对象，利用 fnull 可以保证临界值被设置为合理的默认值。这有助于避免函数开头的长长的警告，以及 o[k] || someDefault 模式的必要性。在 defaults 内部使用 fnull 函数，说明在函数式编程中从较低级别的函数中提取高阶函数的倾向。同样，defaults 返回了一个函数，这对提供一个访问数组的额外层很有帮助[①]。因此，使用函数式编程风格可以封装默认值，并检查被隔离的函数逻辑，从 doSomething 函数中分离出来。继续这个话题，我将用一个建立对象字段验证的函数来结束本章。

① ECMAScript.next 努力制定函数可选参数的规范。目前还不清楚是否要往 JavaScript 内核加入该特性，但我觉得是个不错的特性。更多信息请参考 http://wiki.ecmascript.org/doku.php?id=harmony:parameter_default_values。

4.3 整合：对象校验器

为了结束本章，我将解决一个 JavaScript 中普遍的需求：判断对象是否有效。例如，假设你要创建一个通过 JSON 对象接收外部命令的应用程序。这些命令的基本格式如下：

```
{message: "Hi!",
 type: "display"
 from: "http://localhost:8080/node/frob"}
```

在简单地直接使用这条消息并遍历它之前，如果有个简单的方法来验证这条消息，那就好了。我想看到更加流畅且容易组合的方法，它能够报告给定的命令对象中的所有错误。在函数式编程中，接收和返回其他函数的函数所提供的灵活性不能低估。事实上，解决命令验证问题是一个挺普遍的方法，只是为了提供友好的错误报告而显得有一点复杂。

这里我给出一个名为 checker 的函数，它接收一组谓词函数（返回 true 或 false 的函数），并返回一个验证函数。返回的验证函数在给定对象上执行每个谓词，并对每一个返回 false 的谓词增加一个特殊的错误字符串到一个数组中。如果所有的谓词返回 true，那么最终返回的结果是一个空数组；否则，结果为错误消息的数组。checker 的实现如下所示：

```
function checker(/* validators */) {
  var validators = _.toArray(arguments);

  return function(obj) {
    return _.reduce(validators, function(errs, check) {
      if (check(obj))
        return errs
      else
        return _.chain(errs).push(check.message).value();
    }, []);
  };
}
```

在这种情况下使用_.reduce 是合适的，因为在每个谓词被验证时，errs 数组将会被增加或不发生变化。顺便说一句，我喜欢用 Underscore 的_.chain 函数来避免下面这种可怕的模式：

```
{
  errs.push(check.message);
  return errs;
}
```

使用_.chain 肯定需要更多的字符，但它很好地隐藏了数组变化（我将在第 7 章更

多地讨论隐藏变化）。请注意，checker 函数在谓词对象中去查找一个 message 属性。为了这样，我打算用那些将错误信息作为伪元数据（pseudo-metadata）包含在特殊验证函数内。这不是一个通用解决方案，但在我所实现的代码中，它是一个有效的用例。

对验证命令对象的一个基本测试如下所示：

```
var alwaysPasses = checker(always(true), always(true));
alwaysPasses({});
//=> []

var fails = always(false);
fails.message = "a failure in life";
var alwaysFails = checker(fails);

alwaysFails({});
//=> ["a failure in life"]
```

需要在每次创建验证器时都记得去设置一个 message 会让人感觉有点痛苦。同样，如果能够避免在不属于自己的验证器上添加属性将会更好。可以想到的是，message 是一个非常普通的属性名，如果给它设置值将可能会抹掉正常的属性值。我可以用类似于_message 这样的名字来混淆属性名，但这并不利于记忆。相反，我希望能有一个特定的 API 来创建验证器——能够一目了然的那种。我的解决方案是一个叫做 validator 的高阶函数，其定义如下：

```
function validator(message, fun) {
  var f = function(/* args */) {
    return fun.apply(fun, arguments);
  };

  f['message'] = message;
  return f;
}
```

validator 函数的简单使用证明了这一策略：

```
var gonnaFail = checker(validator("ZOMG!", always(false)));

gonnaFail(100);
//=> ["ZOMG!"]
```

相较于在使用的地方直接定义，我更愿意单独定义每一个“checkers”。这使得我可以给它们起更具描述性的名字，例如：

```
function aMap(obj) {
  return _.isObject(obj);
}
```

aMap 函数可以被用作 checker 的一个参数，来实现一个虚拟的句子：

```
var checkCommand = checker(validator("must be a map", aMap));
```

当然，正如你所料，它的使用方法如下所示：

```
checkCommand({});
//=> true

checkCommand(42);
//=> ["must be a map"]
```

添加简单的 checker 很简单。然而，保持高水平的流畅可能需要一些有趣的技巧。如果回忆一下本章前面的内容，我提到过对于返回函数的函数，其参数可以作为所返回的闭包的行为配置。牢记这一点，可以让你随时随地在需要函数的地方返回配置过的闭包。

以验证命令对象是否包含某些特定的键为例。形容这个 checker 的最好方法是什么？我要说的是拿到一个所需键的简单列表将会很流畅——例如 hasKeys('msg', 'type')。为了让 hasKeys 顺应这个调用约定，我们让它返回一个闭包和一个错误数组，其实现如下所示：

```
function hasKeys() {
  var KEYS = _.toArray(arguments);

  var fun = function(obj) {
    return _.every(KEYS, function(k) {
      return _.has(obj, k);
    });
  };

  fun.message = cat(["Must have values for keys:"], KEYS).join(" ");
  return fun;
}
```

你会发现闭包（捕获 KEYS）用来检查给定的对象是否有效[①]。hasKeys 函数的目的是向 fun 提供执行配置。此外，通过直接返回一个函数，我提供了一个很好的用于描述所需键的流畅的界面。从一个函数返回另一个函数的技术——在这个过程中捕获参数——被称为“柯里化（currying）”（我将会在第 5 章更多地讨论柯里化）。最终，在返回绑定到 fun 的闭包之前，我附上一个有用的 message 属性，来存储所有需要键的列表。还可以通过其他一些额外的工作让它的信息更丰富一些，但作为例子，它已经够用了。

hasKeys 函数的使用方法如下所示：

① hasKeys 函数中的_.has 函数可检查对象是否存在，而当我使用 existy(obj[k]) 时，对象是 null 或 undefined 时会没用。

```
var checkCommand = checker(validator("must be a map", aMap),
                           hasKeys('msg', 'type'));
```

checkCommand 函数的组成很有意思。你可以将它的操作当作编译链中的一个验证模块，其中参数在各种检查关卡中传递，并在验证过程中被执行。事实上，正如你在本书中所经历的，你会发现，函数式编程的确可以被看作一种构建虚拟装配生产线的方式，其中数据从一个函数式“机器”输入，经过一系列的转变和验证（可选），最终以另外一种东西被返回。

在任何情况下，使用新的 checkCommand 检查器来构建“句子的一致性”，都会如你所想象的那样工作：

```
checkCommand({msg: "blah", type: "display"});
//=> []

checkCommand(32);
//=> ["must be a map", "Must have values for keys: msg type"]

checkCommand({});
//=> ["Must have values for keys: msg type"]
```

这很好地突出了本章要涵盖的重点内容。我将进一步深入探讨这些话题，checker 也将在本书中再次露面。

4.4 总结

在本章中，我讨论了属于头等函数的高阶函数，它能够实现下面的一项或两项。

- 以一个函数作为参数。
- 以一个函数作为返回结果。

为了说明如何传递函数给别的函数，本章给出了很多例子，其中包括 max、finder、best、repeatedly 和 iterateUntil。很多时候，为了实现一些行为而将值传递给函数是有价值的，但有时可以通过传递函数使得这样的任务变得更加通用。

对返回函数的函数的讲解开始于有用的 always 函数。always 的一个有趣的特点是，它返回一个闭包，一种你会经常在 JavaScript 中见到的技术。此外，返回函数的函数能够构建强大的函数，如 fnull 对 null 的处理，以及对默认参数的支持。同样，我们使用了很少的代码，用高阶函数建立了一个强大的一致性检查系统：checker。

在下一章中，我将带着我们目前所学到的一切，完全用其他函数来“组合”新函数。

第 5 章

由函数构建函数

本章建立在一等函数的思想基础上，解释如何以及为什么需要构建函数，并探讨了如何像搭乐高积木一样，通过细小部件能构建出丰富的函数。

5.1 函数式组合的精华

回想一下，第 4 章中用函数 invoker 建立了一个接收对象作为其第一个参数的函数，并试图调用该对象的方法。你应该还记得，如果调到目标对象不具有的方法，invoker 返回 undefined。这样可以将多个 invoker 组合在一起，形成多态函数，或根据不同参数产生不同行为的函数。要做到这一点，需要一种接收一个或多个函数，然后不断尝试依次调用这些函数的方法，直到返回一个非 undefined 的值。这样的函数 dispatch，可以被命令式地定义如下：

```
function dispatch(/* funs */) {
  var funs = _.toArray(arguments);
  var size = funs.length;

  return function(target /*, args */) {
    var ret = undefined;
    var args = _.rest(arguments);

    for (var funIndex = 0; funIndex < size; funIndex++) {
      var fun = funs[funIndex];
      ret = fun.apply(fun, construct(target, args));

      if (existy(ret)) return ret;
    }

    return ret;
  };
}
```

对于一个简单的任务来说，这段代码会显得太啰嗦[①]。

在这里我们想做的只是返回一个遍历函数数组，并 apply 给一个目标对象的函数，返回第一个存在的值。然而，尽管看似复杂，dispatch 却满足了多态 JavaScript 函数的定义。这样做简化了委托具体方法的任务。例如，在 Underscore 的实现中，你会经常看到许多不同的函数重复这样的模式。

1．确保目标的存在。

2．检查是否有原生版本，如果是则使用它。

3．如果没有，那么做一些实现这些行为的具体任务。

- 做特定类型的任务（如适用）。
- 做特定参数的任务（如适用）。
- 做特定个参数的任务（如适用）。

同样的模式也体现在 Underscore 的函数_.map 的实现中：

```
_.map = _.collect = function(obj, iterator, context) {
  var results = [];
  if (obj == null) return results;
  if (nativeMap && obj.map === nativeMap) return obj.map(iterator, context);
  each(obj, function(value, index, list) {
    results[results.length] = iterator.call(context, value, index, list);
  });
  return results;
};
```

使用 dispatch 可以简化一些这方面的代码，并且更容易扩展。想象一下，你正在写一个可以为数组和字符串类型生成字符描述的函数。使用 dispatch 则可以优雅地实现：

```
var str = dispatch(invoker('toString', Array.prototype.toString),
                   invoker('toString', String.prototype.toString));


str("a");
//=> "a"

str(_.range(10));
//=> "0,1,2,3,4,5,6,7,8,9"
```

也就是说，通过耦合 invoker 与 dispatch，可以向下代理给具体实现，比如用 Array.

① construct 函数在第 2 章中定义。

prototype.toString，而不是通过 if-then-else 进行群体类型和存在检查的单一函数[①]。

当然，dispatch 操作是不依赖于 invoker 的，而是附着在一个特定的约定上。约定持续尝试执行函数，直到返回 existy 值为止。可以通过提供一个坚持约定的函数来获取这种约定，例如 stringReverse：

```
function stringReverse(s) {
  if (!_.isString(s)) return undefined;
  return s.split('').reverse().join("");
}

stringReverse("abc");
//=> "cba"

stringReverse(1);
//=> undefined
```

现在 stringReverse 可以与 Array#reverse 方法组合来定义一个新的多态函数：rev，如下所示：

```
var rev = dispatch(invoker('reverse', Array.prototype.reverse), stringReverse);

rev([1,2,3]);
//=> [3, 2, 1]

rev("abc");
//=> "cba"
```

此外，我们可以利用 dispatch 的约定组成一个带有默认行为的终止函数，如总是返回已有值或抛出异常。作为一个不错的奖励，通过 dispatch 创建的函数也可以作为参数传递给 dispatch：

```
var sillyReverse = dispatch(rev, always(42));

sillyReverse([1,2,3]);
//=> [3, 2, 1]

sillyReverse("abc");
//=> "cba"

sillyReverse(100000);
//=> 42
```

dispatch 的一个更有趣的模式是可以消除下面这样的 switch 语句调度：

```
function performCommandHardcoded(command) {
  var result;

  switch (command.type)
  {
  case 'notify':
```

① 直接使用 Array.prototype.toString。

```
    result = notify(command.message);
    break;
  case 'join':
    result = changeView(command.target);
    break;
  default:
    alert(command.type);
  }

  return result;
}
```

performCommandHardcoded 函数中的 switch 语句通过 command 对象的一个字段，分派给相关的代码：

```
performCommandHardcoded({type: 'notify', message: 'hi!'});
// does the nofity action

performCommandHardcoded({type: 'join', target: 'waiting-room'});
// does the changeView action

performCommandHardcoded({type: 'wat'});
// pops up an alert box
```

可以使用下面的方式消除这种模式：

```
function isa(type, action) {
  return function(obj) {
    if (type === obj.type)
      return action(obj);
  }
}

var performCommand = dispatch(
  isa('notify', function(obj) { return notify(obj.message) }),
  isa('join',   function(obj) { return changeView(obj.target) }),
  function(obj) { alert(obj.type) });
```

上面的代码中的 isa 函数，接受一个 type 字符串和一个 action 函数，并返回一个新的函数。返回的函数会在 type 字符串和 obj.type 相等时调用 action 函数；否则返回 undefined。返回的 undefined 会促使 dispatch 去尝试下一函数[①]。

为了扩展 performCommandHardcoded 函数，需要去改变实际的 switch 语句。你还可以通过简单地封装 performCommand 到另一个 dispatch 函数来扩展它：

```
var performAdminCommand = dispatch(
  isa('kill', function(obj) { return shutdown(obj.hostname) }),
  performCommand);
```

① 有些语言提供自动调度的方式，如通过谓词列表或任意函数的结果来确定函数的行为。

新创建的 performAdminCommand 函数，首先尝试分派 kill 命令，如果失败则尝试通过调用 performCommand 处理：

```
performAdminCommand({type: 'kill', hostname: 'localhost'});
// does the shutdown action

performAdminCommand({type: 'flail'});
// alert box pops up

performAdminCommand({type: 'join', target: 'foo'});
// does the changeView action
```

你还可以通过重载先前在分发链中的命令来限制一些行为：

```
var performTrialUserCommand = dispatch(
  isa('join', function(obj) { alert("Cannot join until approved") }),
  performCommand);
```

通过几个例子可以看出其新行为：

```
performTrialUserCommand({type: 'join', target: 'foo'});
// alert box denial pops up

performTrialUserCommand({type: 'notify', message: 'Hi new user'});
// does the notify action
```

这是函数组合的精华：使用现有的零部件来建立新的行为，这些新行为同样也成为了已有的零部件。在本章的其余部分，我将从介绍柯里化的概念开始，讨论以其他方式组合函数来创建新的行为。

突变（mutaion）是底层的操作

本书已经举过一个以命令式的方式实现函数的例子，本书的后续部分会有更多这样的例子。虽然理想情况是可以以函数式的方式编写代码，但是为追求速度或方便，一些库的原语也会使用命令式编程技术来完成。函数是抽象的量子，函数中最重要的是，它需要遵循一定的约定。没有人关心一个永远无法逃离的变量是否在函数的作用域内突变。突变有时是必要的，但我认为这是一个底层的操作，眼不见则心不烦。

本书并不是关于函数式编程的优点教条。很多函数式的技术可以控制软件开发的复杂性，但其实很多时候，有更好的方法可以实现单个部件（见图 5-1）。

无论何时，在构建一个应用程序时，通过探索需要的参数来确定实现方法是否适当总是明智的。本书针对函数式编程，主张对问题和解决方案空间的充分了解，从而得出最佳解决方案。我将在第 7 章中贯穿讨论这个主题，不过现在我准备好了一份

美味柯里（curry）食谱[①]。

图 5-1　一个“进化了”的程序员知道在合适的时候使用合适的工具

5.2　柯里化（Currying）

你其实已经见过了柯里化函数（invoker）。柯里化函数为每一个逻辑参数返回一个新函数。例如 invoker，可以想象它的另一种略微不同的实现方式：

```
function rightAwayInvoker() {
  var args = _.toArray(arguments);
  var method = args.shift();
  var target = args.shift();

  return method.apply(target, args);
}

rightAwayInvoker(Array.prototype.reverse, [1,2,3])
//=> [3, 2, 1]
```

也就是说，函数 rightAwayInvoker 不返回一个等待目标对象的函数，而是用第二个参数也就是目标对象调用了方法。而 invoker 函数是柯里化，它意味着给定目标的方法调用被推迟直到参数的逻辑个数（例中为两个）耗尽。你可以通过以下代码看得出来：

```
invoker('reverse', Array.prototype.reverse)([1,2,3]);
//=> [3, 2, 1]
```

这两个括号说明了这里发生了什么（从函数 invoker 返回的绑定到执行 reverse 的函数立即由数组[1,2,3]调用）？

① 这里的“柯里”与美味的食物没有任何关系。相反，它是以数学家 Haskell Curry 的名字命名的，他重新发掘了由另一个名数学家 Moses Schönfinkel 设计的技术。尽管 Haskell Curry 应该是对计算机科学贡献很大的人，但我们似乎已经错过了一个有趣的叫作 schönfinkeling 编程方法的机会。

回顾一下这个思想，返回一个已配置做特定操作的函数（闭包）是非常有用的。同样的想法可以扩展到柯里化函数。也就是说，对于每一个逻辑参数，柯里化函数会逐渐返回已配置的函数，直到所有的参数用完（见图 5-2）。

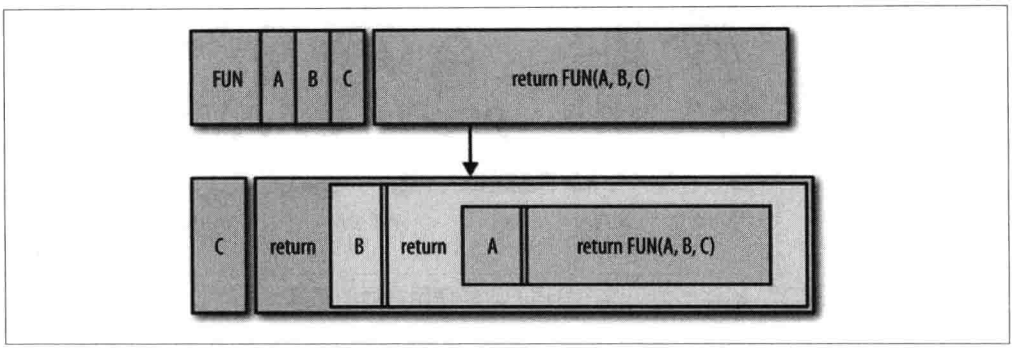


图 5-2　柯里化的图形描述

柯里化的想法其实很简单，但有一点需要注意：如果一个柯里化函数为每个参数返回一个函数，那么“反柯里化”（uncurrying）应该从哪个参数开始，到哪个参数停止呢？

5.2.1　向右柯里化，还是向左

其实柯里化的方向并不重要，重要的是这个选择将会对你的 API 有一些影响。本书（以及我个人）偏好从最右边的参数向左柯里化。像 JavaScript 这样的语言，可以通过任意数量的参数，从右到左让你能修复可选参数的值。

为了说明参数方向选择的差异，请看以下两个例子：

```
function leftCurryDiv(n) {
  return function(d) {
    return n/d;
  };
}

function rightCurryDiv(d) {
  return function(n) {
    return n/d;
  };
}
```

使用除法运算很好地说明了柯里化方向的区别，因为结果会因为参数顺序而变化。观察 leftCurryDiv 函数如何柯里化参数产生结果的：

```
var divide10By = leftCurryDiv(10);
```

函数以参数 10 初始化并命名为 divide10By，该函数配置为做 10/?操作，其中?是下次调用时最右边的参数：

```
divide10By(2);
//=> 5
```

第二次调用柯里函数（命名为 divide10By）开始执行 10/2 操作，得出值为 5。然而，如果使用 rightCurryDiv 函数，情况就完全不一样了：

```
var divideBy10 = rightCurryDiv(10);
```

现在命名为 divideBy10 的柯里函数体变为?/10，在执行前等待最左边的参数：

```
divideBy10(2);
//=> 0.2
```

正如我所说，我将开始从最右边的参数开始柯里化，计算顺序将如图 5-2 所示。

从右柯里化的另一个原因是，部分应用从左向右操作（部分应用将在下一节深入讨论）。部分应用和柯里化覆盖两个方向，允许全面的参数特化。总而言之，我将实现手动柯里（如 leftCurryDiv 和 rightCurryDiv）和自动柯里化的函数。

5.2.2 自动柯里化参数

over10 与 divideBy10 都是手动柯里化函数。也就是说，我显式地返回对应参数数量的函数。同样，为了说明的目的，我的函数 rightCurryDiv 返回一个函数，相当于接收两个参数的除法函数。然而，这是一个简单的高阶函数，它接受一个函数，并返回一个只接收一个参数的函数；我将命名该函数为 curry，其实现如下：

```
function curry(fun) {
  return function(arg) {
    return fun(arg);
  };
}
```

curry 的操作可以概括为：

- 接受一个函数。
- 返回一个只接收一个参数的函数。

这似乎是一个相当没用的函数。为什么不直接使用该函数呢？在许多函数式编程语言中，很少能有令人信服的理由来提供一个像 curry 这样无修饰的代理，但 JavaScript 却略有不同。很多时候在 JavaScript 中，函数会接收期望参数以及额外的“特化”参数。例如，JavaScript 函数 parseInt 接受一个字符串并返回其相应的整数：

```
parseInt('11');
//=> 11
```

此外，parseInt 还可接受一个基数：

```
parseInt('11', 2);
//=> 3
```

上述调用时给定的值的基数为 2，意味着按二进制解析该数字。按照一等函数的方式使用 parseInt 会带来一些副作用：

```
['11','11','11','11'].map(parseInt)
//=> [11, NaN, 3, 4]
```

这里的问题是，在一些版本的 JavaScript 中，给 Array#map 中的函数提供的参数包括数组元素、元素索引，以及数组本身[①]。因此，调用 parseInt 时传入的基数参数将会依次为 0，1，2，然后是 3。看！如果使用 curry，你可以强制 parseInt 在每次调用时只接收一个参数：

```
['11','11','11','11'].map(curry(parseInt));
//=> [11, 11, 11, 11]
```

我可以很容易地编写一个接收任意数量参数的函数，然后考虑如何柯里余下参数，但我更喜欢使用柯里化将参数明确下来。其原因是，使用像 curry 这样的函数，让我们能显式地控制接收固定以及可选的特化参数的函数行为。

举个例子，一个柯里化两个参数的 curry2 函数：

```
function curry2(fun) {
  return function(secondArg) {
    return function(firstArg) {
      return fun(firstArg, secondArg);
    };
  };
}
```

curry2 函数接受一个函数并将其柯里化成两个深层参数的函数。可以用它来实现先前定义的 divideBy10 函数：

```
function div(n, d) { return n / d }

var div10 = curry2(div)(10);

div10(50);
//=> 5
```

就像 rightCurryDiv，div10 函数的逻辑体对应为?/10。curry2 还可用于固化 parseInt 的行为，使其解析时只处理二进制数：

① Underscore 的 map 函数也会被这一问题困扰。

```
var parseBinaryString = curry2(parseInt)(2);

parseBinaryString("111");
//=> 7

parseBinaryString("10");
//=> 2
```

柯里化有利于指定 JavaScript 函数行为，并将现有函数“组合”为新函数。

1. 使用柯里化构建新函数

我展示了如何使用 curry2 来构建一个简单 div10 函数，其中的除法运算符期待一个分子，但是这并没有充分展现其实用性。事实上，正如使用闭包可以根据捕获变量来定制化函数行为，柯里化以同样的方式做同样的事情。例如，Underscore 提供的 _.countBy 函数给定一个数组，返回以函数返回值为键的对象：

```
var plays = [{artist: "Burial", track: "Archangel"},
             {artist: "Ben Frost", track: "Stomp"},
             {artist: "Ben Frost", track: "Stomp"},
             {artist: "Burial", track: "Archangel"},
             {artist: "Emeralds", track: "Snores"},
             {artist: "Burial", track: "Archangel"}];

_.countBy(plays, function(song) {
  return [song.artist, song.track].join(" - ");
});

//=> {"Ben Frost - Stomp": 2,
//    "Burial - Archangel": 3,
//    "Emeralds - Snores": 1}
```

_.countBy 接收任意的函数作为第二个参数这一事实，应该能给你如何使用 curry2 构建定制函数一点提示。也就是说，你可以用 _.countBy 柯里化有用的函数来实现定制的计数功能。在这个计算艺术家的例子中，我们还可以建立一个名为 songCount 的函数：

```
function songToString(song) {
  return [song.artist, song.track].join(" - ");
}

var songCount = curry2(_.countBy)(songToString);

songCount(plays);
//=> {"Ben Frost - Stomp": 2,
//    "Burial - Archangel": 3,
//    "Emeralds - Snores": 1}
```

使用柯里化形成了一个虚拟的句子，有效地陈述“实现 songCount，countBy songToString。”你会经常看到这样使用柯里化来使得函数式接口更可读的用法。

2. 柯里化三个参数来实现 HTML 十六进制颜色构建器

使用实现 curry2 相同的模式，可以定义柯里化 3 个参数的函数：

```
function curry3(fun) {
  return function(last) {
    return function(middle) {
      return function(first) {
        return fun(first, middle, last);
      };
    };
  };
};
```

我可以以各种有趣的方式使用 curry3，包括使用 Underscore 的_.uniq 函数来构建所有唯一演奏过的歌曲数组：

```
var songsPlayed = curry3(_.uniq)(false)(songToString);

songsPlayed(plays);

//=> [{artist: "Burial", track: "Archangel"},
//    {artist: "Ben Frost", track: "Stomp"},
//    {artist: "Emeralds", track: "Snores"}]
```

通过比较 curry3 与_.uniq 的直接调用，你可能会看到二者清晰的关系：

```
        _.uniq(plays, false,  songToString);

curry3(_.uniq)      (false) (songToString);
```

再回到如何用 curry3 来实现为特定的色彩生成 HTML 十六进制值。我们从函数 rgbToHexString 开始：

```
function toHex(n) {
  var hex = n.toString(16);
  return (hex.length < 2) ? [0, hex].join(''): hex;
}

function rgbToHexString(r, g, b) {
  return ["#", toHex(r), toHex(g), toHex(b)].join('');
}
rgbToHexString(255, 255, 255);
//=> "#ffffff"
```

可以继续柯里化该函数来生成特定的颜色或色调：

```
var blueGreenish = curry3(rgbToHexString)(255)(200);

blueGreenish(0);
//=> "#00c8ff"
```

5.2.3 柯里化流利的 API

使用柯里化比较容易产生流利的函数式 API。在 Haskell 编程语言中，函数是默认

柯里化的，所以它的库自然可以利用这一事实。但在 JavaScript 中，函数式 API 的设计必须利用柯里化，而且必须文档化。然而，确定是否应该使用柯里化的通用规则是：API 是否要利用高阶函数？如果答案是肯定的，那么至少一个参数的柯里化函数是合适的。例如第 4 章构建的 checker，它接收一个函数来检查值的正确性。使用柯里化函数构建一个流畅的 checker 非常简单：

```
var greaterThan = curry2(function (lhs, rhs) { return lhs > rhs });
var lessThan    = curry2(function (lhs, rhs) { return lhs < rhs });
```

直接将柯里化函数 greaterThan 与 lessThan 作为谓词传入 validator：

```
var withinRange = checker(
  validator("arg must be greater than 10", greaterThan(10)),
  validator("arg must be less than 20", lessThan(20)));
```

这种柯里化的用法比直接使用匿名函数要容易阅读。当然，withinRange 检查器工作正常：

```
withinRange(15);
//=> []

withinRange(1);
//=> ["arg must be greater than 10"]

withinRange(100);
//=> ["arg must be less than 20"]
```

现在你应该同意，使用柯里化有利于创建更流畅的接口。代码阅读起来越像它行为的描述则越好。本书会努力满足这个条件。

5.2.4 JavaScript 柯里化的缺点

curry2 和 curry3 看起来都很不错，要是有能进行任意深度柯里化的函数 curryAll 就更好了。事实上，建立这样的函数是可能的，但并不是很实用。像 Haskell 或 Shen 这样的编程语言，柯里化是自动完成的，API 都建立在柯里化函数的基础上。而 JavaScript 允许可变数目的参数这点很容易让人费解，并看上去像是反柯里化的。事实上，Underscore 库中提供了大量的根据不同参数类型和数目有不同行为的函数，因此，只要注意应用，也是可以实现柯里化的。

curry2 和 curry3 对于 API 的设计是有用的，而且它们也可以优雅地实现函数式组合。不过，在任意层次上部分应用函数要比柯里化更实用。

5.3 部分应用

前面已经解释过，柯里化函数逐渐返回消耗参数的函数，直到所有参数耗尽。然

而，部分应用函数是一个“部分”执行，等待接收剩余的参数立即执行的函数，如图 5-3 所示[①]。

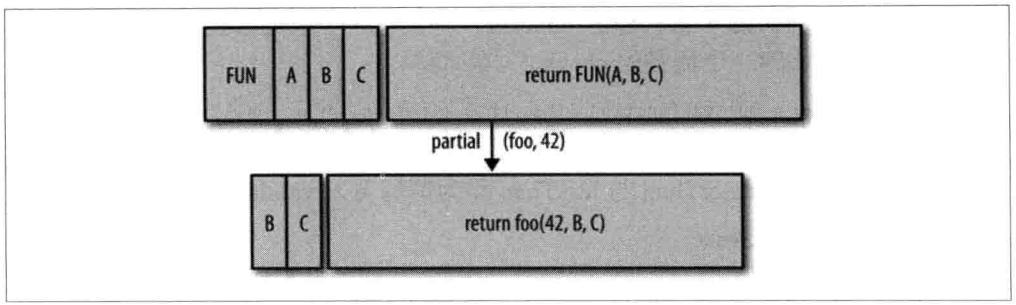


图 5-3　部分应用

文字与图片说明都不错，但要了解部分应用的最好方法就是实践。想象一下 over10 的另一种实现：

```
fucntion divPart(n) {
  return fucntion(d) {
    return n / d;
  };
}

var over10Part = divPart(10);
over10Part(2);
//=> 5
```

over10Part 的实现看起来与 leftCurryDiv 一样，这其实就是柯里化和部分应用程序之间的关系。在这里柯里化函数与部分应用在执行前都只期待一个参数。但是，部分应用程序并不一定每次只处理一个参数，而是应用并存储部分参数，并接收剩下的参数等待运行。

柯里化和局部应用之间的关系可参考图 5-4。

虽然柯里化与部分应用程序是相关的，但它们的用法完全不同。请不要留意 curry2 和 curry3 函数是由右至左处理参数列表，虽然单凭这一事实就足以形成不同的 API 与使用模式。但它们之间的主要区别是，对于可变参（varargs）函数，前者不会产生太多困惑。JavaScript 函数的可变参通常直接绑定前几个参数并保留末尾的参数作为可选或特化参数。换句话说，部分应用函数就是利用指定的一组已知参数必然会导致特定行为这一点，后续将介绍该部分。

① 最近的 JavaScript 的版本提供了 Function.bind 方法执行部分应用（Herman 2012）。

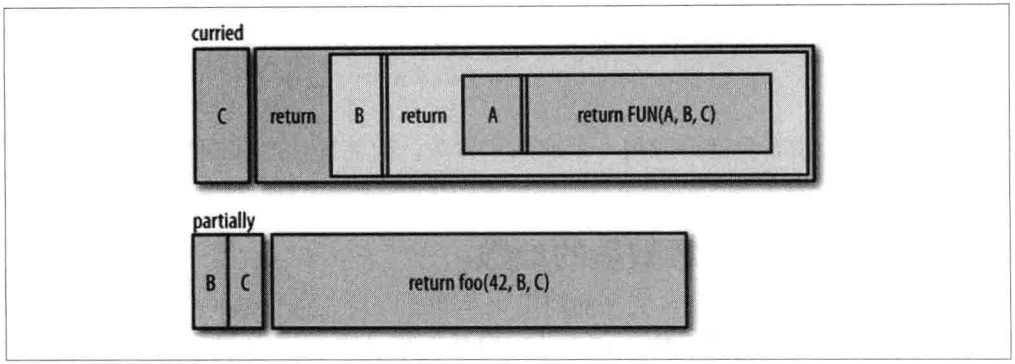


图 5-4　柯里化与部分应用的关系：柯里化函数在 FUN 运行之前需要三次级联调用（例如 curried（3）（2）（1）），而部分应用函数已准备好被调用，只需要一次带两个参数的调用（例如 partially（2，3））

5.3.1　部分应用一个和两个已知的参数

跟柯里化一样，最好是从简单例子开始。部分应用一个参数的函数[①]：

```
function partial1(fun, arg1) {
  return function(/* args */) {
    var args = construct(arg1, arguments);
    return fun.apply(fun, args);
  };
}
```

注意，从函数 partial1 返回的函数捕获参数 arg1，并把它放在执行调用的参数列表 arglist 前面。你可以通过运行该函数看出这些操作：

```
var over10Part1 = partial1(div, 10);

over10Part1(5);
//=> 2
```

我通过组合另一个函数与一个“配置”参数重新创建了函数 over10[②]。部分应用两个参数的函数也比较类似：

```
function partial2(fun, arg1, arg2) {
  return function(/* args */) {
    var args = cat([arg1, arg2], arguments);
    return fun.apply(fun, args);
  };
}
```

① 你也可以使用原生的 bind 方法（如果有的话）来实现 partial1，替换内容为 return fun.bind(undefined, arg1);。

② 同样，over10 可以通过原生的 bind，如 var over10 = div.bind(undefined, 10);。你也可以使用原生 bind 的方法实现 partial2，只需要替换成 return fun.bind(undefined, arg1, arg2);。

```
var div10By2 = partial2(div, 10, 2)

div10By2()
//=> 5
```

你会在实践中经常看到部分应用一个或两个参数，而捕捉任意数量的参数供之后执行会更有用。

5.3.2 部分应用任意数量的参数

不像要对付 JavaScript 复杂可变参的柯里化，部分应用任意数量的参数是正统的组合策略。值得庆幸的是，函数 partial 的实现并不明显比 partial1 或 partial2 更复杂。事实上，之前的实现在这里仍适用：

```
function partial(fun /*, pargs */) {
  var pargs = _.rest(arguments);

  return function(/* arguments */) {
    var args = cat(pargs, _.toArray(arguments));
    return fun.apply(fun, args);
  };
}
```

你可能已经注意到了，原理是一样的：partial 捕获了一定数量的参数，并返回用它们作为参数的调用函数[①]。运行 partial 也完全一样：

```
var over10Partial = partial(div, 10);
over10Partial(2);
//=> 5
```

而 JavaScript 中可变参数的存在并没有完全打败部分应用程序的实用性，它仍然可以使问题复杂化，如下所示[②]：

```
var div10By2By4By5000Partial = partial(div, 10, 2, 4, 5000);
div10By2By4By5000Partial();
//=> 5
```

你可能知道部分应用只期待一个参数，而事实上却可以接收任何数量的参数，对此你可能会产生疑惑。实际上，部分应用 div 函数只是调用一次，参数是 10 和 2，其余的参数都被忽略了。继续增加部分应用会使得问题更加混乱。但好消息是，实践中很少会碰到这种情况。

---

① JavaScript 的原生 bind，让你部分应用任意数量参数的函数。为了达到与 partial 相同的效果，你可以执行以下操作：fun.bind.apply(fun, construct(undefined, args))。

② Underscore 也有本章提及的 partial 函数。然而，Underscore 的本质是，默认参数顺序与其使用是没有关系的。partial 真正的意义是在于使用现有函数创建新的函数。正如 Underscore 最受欢迎的地方，集合优先，消除了通过部分应用修饰（modifier）函数作为第一个参数的特化高阶函数的动力。

5.3.3 局部应用实战：前置条件

回忆第 4 章的 validator 函数：

```
validator("arg must be a map", aMap)(42);
//=> false
```

高阶函数 validator 接受一个验证的谓词函数并返回一个验证错误的数组。如果错误数组为空，则所有验证是通过的。validator 可用于更广泛的用途，如手动验证函数参数：

```
var zero = validator("cannot be zero", function(n) { return 0 === n });
var number = validator("arg must be a number", _.isNumber);

function sqr(n) {
  if (!number(n)) throw new Error(number.message);
  if (zero(n))    throw new Error(zero.message);

  return n * n;
}
```

调用 sqr 函数检查如下：

```
sqr(10);
//=> 100

sqr(0);
// Error: cannot be zero

sqr('');
// Error: arg must be a number
```

读起来相当不错，但如果使用部分应用将更好。有一类错误会被基本数据检查出来，但有一类错误会被忽略。也就是说，有一类错误涉及计算的担保。对于这类错误，有两种类型的担保。

（1）前置条件

函数的调用者的担保。

（2）后置条件

假设的前置条件成立，则保证函数调用的结果。

前置与后置条件之间的关系可以这么描述：给出函数能处理的数据，那么就能确保符合特定条件的结果。

之前提到的函数—sqr—有关于“numberness”和“zeroness”两个前提条件。我们可以随时验证这些条件，结果都是对的。但实际上，它们需要保证 sqr 关联在正在

运行的应用程序的上下文中。因此，我可以使用一个新的函数 condition1，以及部分应用将前置条件与计算要素分离：

```
function condition1(/* validators */) {
  var validators = _.toArray(arguments);

  return function(fun, arg) {
    var errors = mapcat(function(isValid) {
      return isValid(arg) ? [] : [isValid.message];
    }, validators);

    if (!_.isEmpty(errors))
      throw new Error(errors.join(", "));

    return fun(arg);
  };
}
```

你会注意到，从 condition1 返回的函数注定只需要一个参数。这里主要是为了说明的目的，因为 vararg 确实比较复杂并且令人困惑[①]。问题的关键是，condition1 返回的函数接受一个函数和一组函数，这组函数由 validator 创建，要么抛出异常 Error，要么返回 fun 的运行结果。这是一个非常简单但功能强大的模式：

```
var sqrPre = condition1(
  validator("arg must not be zero", complement(zero)),
  validator("arg must be a number", _.isNumber));
```

这个验证 API 可读性非常好。你会很快发现，通过函数组合，你的代码变得更像声明一样（描述要做什么，而不是怎么做）。下面是运行 condition1 返回的 sqrPre 过程：

```
sqrPre(_.identity, 10);
//=> 10

sqrPre(_.identity, '');
// Error: arg must be a number

sqrPre(_.identity, 0);
// Error: arg must not be zero
```

回顾一下 sqr 的定义，你可能已经猜到了我们如何使用 sqrPre 来检查它的参数。如果没有，那么试想一下“不安全”版本的 sqr 定义：

```
function uncheckedSqr(n) { return n * n };

uncheckedSqr('');
//=> 0
```

① 我将此部分作为练习留给读者。

显然，即使它可以用 JavaScript 的弱点当借口，空字符串的平方也不应该是 0。值得庆幸的是，我已经建立了一套工具，用 validator，partial1，condition1 和 sqrPre 可以解决这个问题[①]：

```
var checkedSqr = partial1(sqrPre, uncheckedSqr);
```

通过新建立的函数 checkedSqr，组合了 sqrPre 与 uncheckedSqr 的功能：

```
checkedSqr(10);
//=> 100

checkedSqr('');
// Error: arg must be a number

checkedSqr(0);
// Error: arg must not be zero
```

checkedSqr 与之前的 sqr 用起来完全一样，但是分离了计算与有效性验证，这样的灵活性已经达到了预期。也就是说，我现在只需要不传入验证函数即可关闭验证，同样也可以增加额外的验证：

```
var sillySquare = partial1(
  condition1(validator("should be even", isEven)),
  checkedSqr);
```

因为 condition1 返回的是一个期待另一个函数的函数，使用 partial1 结合了这两个函数：

```
sillySquare(10);
//=> 100

sillySquare(11);
// Error: should be even

sillySquare('');
// Error: arg must be a number
sillySquare(0);
// Error: arg must not be zero
```

明显你不希望数字的平方被限制到这种无聊的程度，但我想已经阐明了我的观点。组成其他函数的函数也是由别的函数组合而成的。在讲下一节之前，我们再回头看看如何重新实现一遍命令对象，看如何重新实现有验证命令对象（第 4 章）：

```
var validateCommand = condition1(
  validator("arg must be a map", _.isObject),
  validator("arg must have the correct keys", hasKeys('msg', 'type')));

var createCommand = partial(validateCommand, _.identity);
```

① 在这个例子中，我本可以用 partial 而不是 partial1，但我喜欢代码更明确。

为什么要使用_.identity 函数作为 createCommand 函数的逻辑部分？在 JavaScript 中，我们需要通过规矩和缜密的思考来达到安全性。createCommand 的情况是，其目的在于提供同一种函数用于创建和验证命令对象：

```
createCommand({});
// Error: arg must have right keys

createCommand(21);
// Error: arg must be a map, arg must have right keys

createCommand({msg: "", type: ""});
//=> {msg: "", type: ""}
```

但是，使用函数组合可以让你后来为了定义实际的建筑逻辑或验证本身建立在现有的创作抽象之上。如果想建立需要的另一个派生命令的类型，那么你可以像下面这样组合：

```
var createLaunchCommand = partial1(
  condition1(
    validator("arg must have the count down", hasKeys('countDown'))),
  createCommand);
```

createLaunchCommand 如预期的一样：

```
createCommand({msg: "", type: ""});
// Error: arg must have the count down

createCommand({msg: "", type: "", countDown: 10});
//=> {msg: "", type: "", countDown: 10}
```

无论用柯里化还是部分应用来构建函数都有局限性：都只按照它们的参数来组合。然而，你可能要根据参数与它们的返回值之间的关系来组合函数。在下一节中，我将谈到函数 compose，允许函数的端到端的拼接。

5.4 通过组合端至端的拼接函数

一个理想化的函数式程序是向函数流水线的一端输送的一块数据，从另一端输出一个全新的数据块。事实上，JavaScript 程序员一直在这样做：

```
!_.isString(name)
```

这个流水线由_.isString 与!组成，其中包括如下几种。

- _.isString 接收一个对象，并返回一个布尔值。
- ！接收一个布尔值，并返回一个布尔值。

通过组合多个函数及其数据转换建立新的函数：

```
function isntString(str) {
  return !_.isString(str);
}

isntString(1);
//=> true
```

还可以使用 Underscore 的_.compose 函数实现同样的功能：

```
var isntString = _.compose(function(x) { return !x }, _.isString);

isntString([]);
//=> true
```

_.compose 函数从右往左执行。也就是说，最右边函数的结果会被送入其左侧的函数，一个接一个。通过格式化代码，你可以看到该函数与原函数的对应：

```
                                    !       _.isString("a");

_.compose(function(str) { return !str }, _.isString)("a");
```

事实上，！操作符还可以封装到它自己的函数：

```
function not(x) { return !x }
```

用 not 函数组合成你期待的函数：

```
var isntString = _.compose(not, _.isString);
```

使用组合的方式轻松将字符串转换成布尔变量。这种组合模型就像搭乐高积木一样，通过组合函数来创建新的函数。

之前定义的函数 mapcat，还可以用_.compose 重新定义[①]：

```
var composedMapcat = _.compose(splat(cat), _.map);

composedMapcat([[1,2],[3,4],[5]], _.identity);
//=> [1, 2, 3, 4, 5]
```

还有无数种方式组合函数，以形成更多的功能。现在我就先介绍一种。

组合前置与后置条件

在上一节中，我提到前置条件下定义的函数的操作会产生一个遵循一组不同的约束条件的值。这些生产限制被称为后置条件。使用 condition1 和 partial，能够建立一个函数（checkedSqr）来检查输入参数 uncheckedSqr 是否符合其前提条件。不过，如果我想定义平方的后置条件，那么需要这样定义 condition1：

① 我早在第 1 章就定义了 splat。

```
var sqrPost = condition1(
  validator("result should be a number", _.isNumber),
  validator("result should not be zero", complement(zero)),
  validator("result should be positive", greaterThan(0)));
```

我可以一一检查出现错误的情况：

```
sqrPost(_.identity, 0);
// Error: result should not be zero, result should be positive

sqrPost(_.identity, -1);
// Error: result should be positive

sqrPost(_.identity, '');
// Error: result should be a number, result should be positive

sqrPost(_.identity, 100);
//=> 100
```

但问题出现了：我怎么能将后置条件函数 check 粘到现有的 uncheckedSqr 和 sqrPre 上呢？当然，答案是使用_.compose 粘合[①]。

```
var megaCheckedSqr = _.compose(partial(sqrPost, _.identity), checkedSqr);
```

用法与 checkedSqr 是一样的：

```
megaCheckedSqr(10);
//=> 100

megaCheckedSqr(0);
// Error: arg must not be zero
```

以下情况除外：

```
megaCheckedSqr(NaN);
// Error: result should be positive
```

当然，如果函数抛出过一个后置条件的错误，那么这意味着前提条件可能不足，或者后置条件过足，也有可能使内部逻辑错乱。一切后置条件的失败都永远是函数的提供者的错。

5.5 总结

本章中介绍了无论是通用还是专用函数，新的函数可以从现有的函数来构建的理念。第一阶段的组合是调用了一个又一个函数，然后将这些调用包装在另一个函数中。但是，使用专门的组合函数往往更容易阅读与理解。

① 另一种方法是重写 condition1，操作名为 Either 的一个中间对象类型，Either 持有所得到的值或一个错误字符串。

第一个介绍的组合函数是_.curry，它接收一个函数和一定数量的参数并返回一个接收剩余参数的函数。因为 JavaScript 允许可变数目的参数，我们用静态的函数 curry 和 curry2 来创建已知的参数大小的函数。为了引入柯里化，我还使用该技术实现了一些有趣的函数。

第二个引入的组合函数是 partial，它接收一个函数和一定数量的参数并返回一个固定了第一个参数的函数。通过局部应用 partial，partial1 和 partial2，证明了一个比柯里化更广泛适用的技术。

最后一个组合函数是_.compose，接收一定数量的函数并将它们从右至左拼接。高阶函数_.compose 是用来建立在第 4 章中 checker 实现的教训之上的，使用了特别少量的代码，用前置和后置函数做“装饰”。

下一章仍然是过渡性章节，将再次覆盖 JavaScript 中不是很流行但在函数式中很普通的话题：递归。

第 6 章

递归

本章是一个过渡性的章节，旨在平滑地从思考函数转向更深程度的函数式风格的思考，包括何时打破它，以及为什么有时候这样做很好。具体来说，本章包含了递归，直接或通过其他函数调用自己的函数。

6.1 自吸收（self-absorbed）函数（调用自己的函数）

从历史上看，递归和函数式编程是相关的，或者至少是它们经常被一起介绍。在本章中，我将解释它们是如何相关的。但现在我可以说，理解递归对理解函数式编程来说非常重要，原因有三。

- 递归的解决方案包括使用对一个普通问题子集的单一抽象的使用。
- 递归可以隐藏可变状态。
- 递归是一种实现懒惰和无限大结构的方法。

如果你考虑一个函数本质，如 myLength 接受一个数组，并返回它的长度（元素的数量），那么你可能会得到下面的描述[①]。

1．从零开始计算数组大小。

2．遍历数组，每遍历一个元素，数组大小加 1。

① 你可能会想："为什么不在字段中直接使用 length 呢？"而这种务实的想法对构建好的系统很重要，但不会对递归的学习有所帮助。

3．遍历到数组结束，那么数组大小就是它的长度。

这是一个对 myLength 的正确描述，但它不涉及递归的思想。相反，一个递归式的描述将如下所示。

1．如果数组是空的，那么它的长度是零。

2．对数组的其余部分，添加一个结果到 myLength。

我可以直接在 myLength 的实现中执行这两个规则，如下所示：

```
function myLength(ary) {
  if (_.isEmpty(ary))
    return 0;
  else
    return 1 + myLength(_.rest(ary));
}
```

递归函数非常有利于构建值。实现递归的关键在于认识到某个值是由一个更大问题的子问题构建出来的。对于 myLength 而言，整个解决方案可以被看作向一个空数组的长度增加一定数量的单元素数组。由于 myLength 用 _.rest 的结果来调用自己，每个递归调用得到少了一个元素的数组，直到最后调用得到一个空数组（见图 6-1）。

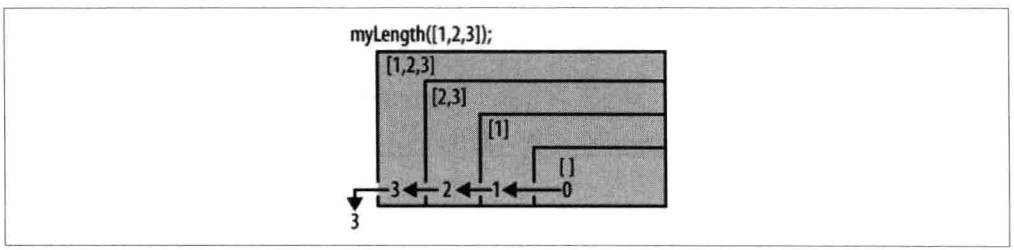


图 6-1　递归式的 myLength 会“消耗”数组

观察下面 myLength 的行为：

```
myLength(_.range(10));
//=> 10

myLength([]);
//=> 0

myLength(_.range(1000));
//=> 1000
```

需要知道的是，不应该改变传给递归函数的参数：

```
var a = _.range(10);

myLength(a);
//=> 10

a;
//=> [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]
```

虽然一个递归函数可能在逻辑上消耗它的参数，但它不应该真的这样去做。虽然在myLength 中，它利用输入构建了一个整数返回值，但事实上递归函数可以创建任何类型的合法值，包括数组和对象。例如，对于函数 cycle，它接受一个数字和一个数组，可以构建一个新数组，新数组中一定次数的重复包含了输入数组：

```
function cycle(times, ary) {
  if (times <= 0)
    return [];
  else
    return cat(ary, cycle(times - 1, ary));
}
```

cycle 函数的形式看起来与 myLength 函数类似。也就是说，myLength“消耗”了输入数组，而 cycle“消耗”了重复次数。同样，每个步骤中构建的是一个新的数组。这种消费/构建的过程如图 6-2 所示。

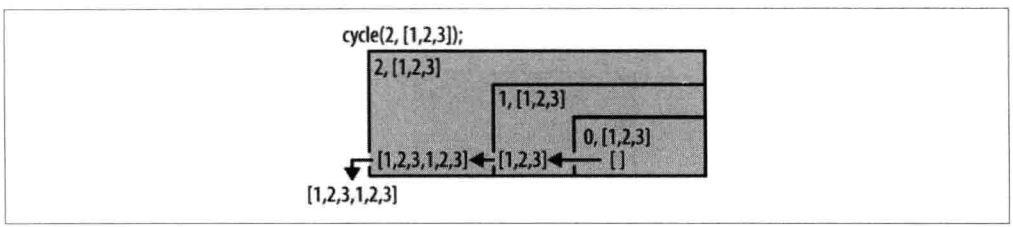


图 6-2　构建一个数组的递归循环

以下是 cycle 的使用方法：

```
cycle(2, [1,2,3]);
//=> [1, 2, 3, 1, 2, 3]

_.take(cycle(20, [1,2,3]), 11);
//=> [1, 2, 3, 1, 2, 3, 1, 2, 3, 1, 2]
```

我将创建的另一个递归函数叫作 unzip，它是对 Underscore 的_.zip 函数的逆。_.zip 函数正如拉链一般，用于将两个数组中的值一一配对，如下所示：

```
_.zip(['a', 'b', 'c'], [1, 2, 3]);

//=> [['a', 1], ['b', 2], ['c', 3]]
```

Underscore 的_.zip 接受两个数组，将第一个数组中的每个元素与对应的第二个数组

中元素组成对。要“解压”那些由函数_.zip 生成的数组，我认为需要考虑解压数组的“对（pairness）”。换句话说，如果我考虑这样的基本情况：一个数组需要解压缩，然后我可以开始考虑如何通过解构这个问题来解决它：

```
var zipped1 = [['a', 1]];
```

比 zipped1 更基础的是空数组[]，但是解压缩空数组的结果是数组[[],[]]（这似乎是一个很好的终止条件，所以现在先把它记住）。zipped1 是一个简单且有趣的案例，它是解压数组[['a'], [1]]的结果。所以在给出终止条件[[],[]]和基本用例 zipped 的情况下，如何得到[['a'], [1]]?

其实就是从 zipped1 拿第一个元素并将其放入终止条件的第一个数组中，对于第二个元素也一样。我可以把这种操作抽象成函数 constructPair：

```
function constructPair(pair, rests) {
  return [construct(_.first(pair), _.first(rests)),
          construct(second(pair),  second(rests))];
}
```

为了提供一般的“unzippability”，单单 constructPair 是不够的，比如我可以得到一个解压版本的 zipped1：

```
constructPair(['a', 1], [[],[]]);
//=> [['a'], [1]]

_.zip(['a'], [1]);
//=> [['a', 1]]

_.zip.apply(null, constructPair(['a', 1], [[],[]]));
//=> [['a', 1]]
```

同样，我可以使用 constructPair 逐步建立已解压版本的更大的压缩数组，如下所示：

```
constructPair(['a', 1],
  constructPair(['b', 2],
    constructPair(['c', 3], [[],[]])));

//=> [['a','b','c'],[1,2,3]]
```

该操作如图 6-3 所示。

因此，使用 constructPair 的知识，现在可以建立一个自递归函数 unzip：

```
function unzip(pairs) {
  if (_.isEmpty(pairs)) return [[],[]];

  return constructPair(_.first(pairs), unzip(_.rest(pairs)));
}
```

在递归调用 unzip 会遍历所有的压缩组合，直到它到达一个空数组。然后，它遍历子数组，沿路利用 constructPair 构造一个解压缩的数组。实现 unzip 之后，我能够“撤销”调用_.zip 的结果：

```
unzip(_.zip([1,2,3],[4,5,6]));
//=> [[1,2,3],[4,5,6]]
```

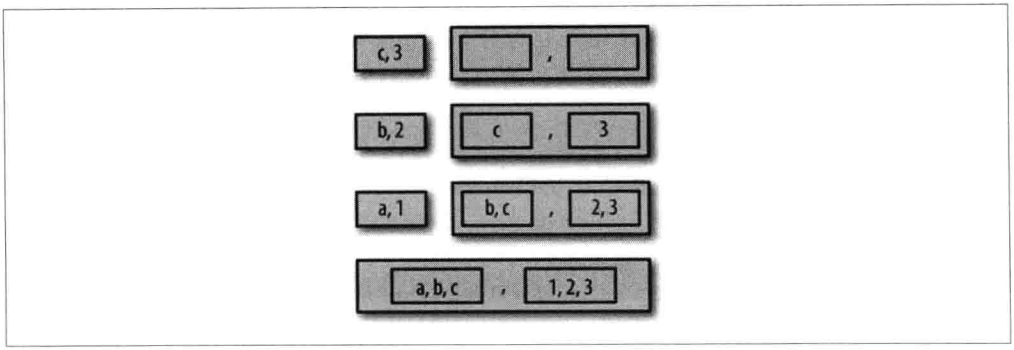


图 6-3　constructPair 操作的图形示意

myLength 的所有实例，如 cycle，以及 unzip 是自递归（或者换句话说，调用自身的函数）的例子。编写自递归函数时，规则如下（Touretzky，1990）。

- 知道什么时候停止。
- 决定怎样算一个步骤。
- 把问题分解成一个步骤和一个较小的问题。

表 6-1 列出了遵守这些规则如何运作的表格。

表 6-1　　自递归的规则

函　数	何时停止	进行一个步骤	小一些的问题
myLength	_.isEmpty	1 + ...	_.rest
cycle	times <= 0	cat(array ...	times - 1
unzip	_.isEmpty	constructPair(_.first ...	_.rest

这三个规则相当于编写自递归函数的模板。为了说明可以将此模板套用到任何复杂的自递归函数，我将运行一个更复杂的例子，并解释相似之处。

6.1.1 用递归遍历图

能优雅地用递归解决的问题之一是遍历数据结构图的每一个节点。很难再找到比用递归更优雅的方式解决在图内搜索路径的方法。图 6-4 的特别之处在于，它显示了间接或直接影响了 JavaScript 的编程语言。

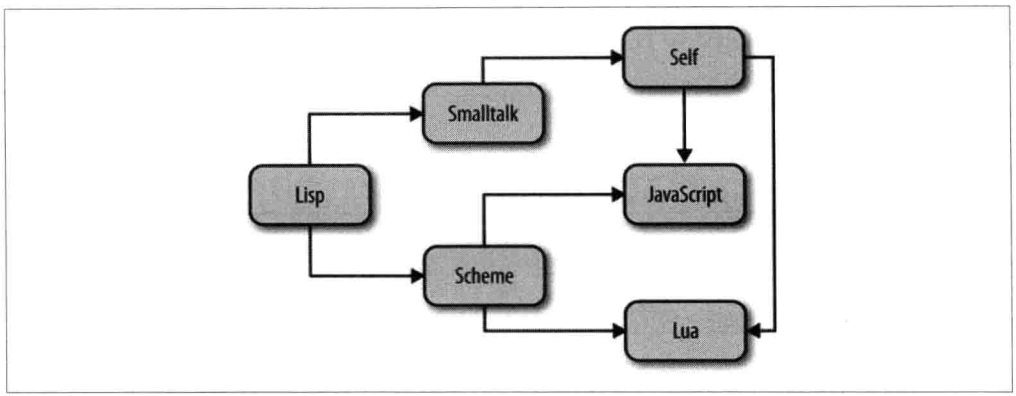


图 6-4 编程语言影响

其实我也可以使用基于类或基于对象的角度来呈现，其中每一种语言和连接可以通过 Node 和 Arc 类型的对象来表示，但我更愿意先从简单的东西入手，比如字符串数组的数组：

```
var influences = [
  ['Lisp', 'Smalltalk'],
  ['Lisp', 'Scheme'],
  ['Smalltalk', 'Self'],
  ['Scheme', 'JavaScript'],
  ['Scheme', 'Lua'],
  ['Self', 'Lua'],
  ['Self', 'JavaScript']];
```

influences 中的每个嵌套数组表示“影响者”的连接，例如，第一个数组表示 Lisp 语言 Smalltalk 的影响，最终形成如图 6-4 所示的图。递归函数 nexts，递归的定义如下（Paulson 1996）：

```
function nexts(graph, node) {
  if (_.isEmpty(graph)) return [];
  var pair = _.first(graph);
  var from = _.first(pair);
  var to   = second(pair);
  var more = _.rest(graph);

  if (_.isEqual(node, from))
    return construct(to, nexts(more, node));
```

```
    else
      return nexts(more, node);
  }
```

用函数 nexts 递归遍历，并建立由给定节点影响的编程语言的数组，如下所示：

```
nexts(influences, 'Lisp');
//=> ["Smalltalk", "Scheme"]
```

nexts 里面的递归调用跟你到目前为止看到的完全不同；在 if 语句的两个分支都进行了递归调用。nexts 中的“then”分支直接处理有关的目标节点，而 else 分支负责忽略不重要的节点。

表 6-2　　nexts 自递归的规则

函　数	停止条件	一个步骤	缩小的问题
nexts	_.isEmpty	construct(...)	_.rest

让 nexts 能够遍历多个节点其实只需要再一点点努力，但我决定将此作为一个练习留给读者。我现在将介绍的图遍历的一个递归算法，称为深度优先搜索。

6.1.2　深度优先自递归搜索

在本节中，我会简单介绍一下图的搜索，并提供深度优先搜索的函数实现。在函数式编程，你会经常需要搜索数据结构中的数据块。在有层级关系的图（如 influences）中，搜索的解决方案自然是递归。然而，要找到图中一个给定的节点，你（可能）需要访问图中的每一个节点，确定是否就是你要找的。一个节点遍历策略称为深度优先遍历，优先访问最左侧分支，然后再访问右侧分支上的节点（见图 6-5）。

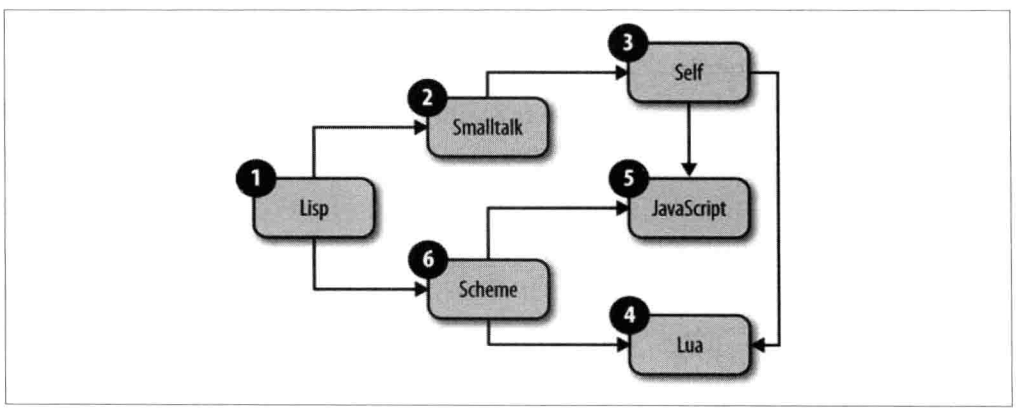


图 6-5　深度优先遍历影响图

不同于以往的递归实现，函数 depthSearch 应保存遍历过的节点。原因是图中又可能会出现环，所以如果没有记录，会一直无线循环在环中搜索。然而，由于自递归调用可以通过参数与下个递归进行交互，遍历的记录可以从一个调用传给下一个调用，这个参数称为“累加器”。累加器参数是递归的常见技术，经常用于从一个递归调用到下一个的信息通信。使用累加器实现的 depthSearch 如下：

```
function depthSearch(graph, nodes, seen) {
  if (_.isEmpty(nodes)) return rev(seen);

  var node = _.first(nodes);
  var more = _.rest(nodes);

  if (_.contains(seen, node))
    return depthSearch(graph, more, seen);
  else
    return depthSearch(graph,
                       cat(nexts(graph, node), more),
                       construct(node, seen));
}
```

你可能已经发现，第三个参数 seen 就是用来存放已遍历节点的累加器。depthSearch 的实际应用如下：

```
depthSearch(influences, ['Lisp'], []);
//=> ["Lisp", "Smalltalk", "Self", "Lua", "JavaScript", "Scheme"]

depthSearch(influences, ['Smalltalk', 'Self'], []);
//=> ["Smalltalk", "Self", "Lua", "JavaScript"]

depthSearch(construct(['Lua','Io'], influences), ['Lisp'], []);
//=> ["Lisp", "Smalltalk", "Self", "Lua", "Io", "JavaScript", "Scheme"]
```

你可能已经注意到，depthSearch 函数实际上什么事情也没做。反而，它只是建立了按照深度顺序排列的节点的数组。稍后会用函数组合以及相互递归再次实现深度优先的策略。首先，请允许我花点时间谈“尾递归”。

尾（自）递归

虽然一般形式的 depthSearch 看起来与之前的非常相似，但是有一个区别很关键。为了突出我的意思，看看表 6-3。

表 6-3　　depthSearch 自递归的规则

函　数	停止条件	一个步骤	缩小的问题
nexts	_.isEmpty	construct(...	_.rest
depthSearch	_.isEmpty	depthSearch(more...	depthSearch(cat...

其中明显的区别是，“一个步骤”和“缩小的问题”中的元素都要进行 depthSearch 递归调用。当对任何这些元素进行递归调用时，该函数被称为尾递归。换句话说，就是函数（除了停止条件返回值）的最后一个动作是递归调用。由于 depthSearch 的最后一次调用是一个递归调用，所以函数体将永远不会再次使用。例如 Scheme 语言就是用这一方式来释放尾递归函数体中使用的资源。

myLength 的尾递归实现如下所示：

```
function tcLength(ary, n) {
  var l = n ? n : 0;

  if (_.isEmpty(ary))
    return l;
  else
    return tcLength(_.rest(ary), l + 1);
}

tcLength(_.range(10));
//=> 10
```

而之前的递归调用 myLength（1+…）会重复访问函数体来执行最终的加法。也许有一天，JavaScript 引擎将优化尾递归函数来保持内存。但现在，事实是我们被诅咒在调用堆栈上深深的递归调用中[①]。然而，正如你将在本章后面看到的，函数的尾部位置仍然是有趣的。

6.1.3 递归和组合函数：Conjoin 和 Disjoin

在这本书中，我已经实现了一些常用的函数组合功能：curry1，partial 和 compose，但我没有描述如何自己创建一个。幸运的是，几乎不太有这种需求，因为 Underscore 已经实现了这些函数。然而，我将在本节中创建两个新的组合函数：orify 和 andify，并使用递归实现。

回想一下早在第 4 章实现的 checker 函数，它接收一些谓词函数并返回一个能判断是否每个参数对那些谓词都是真的函数。我可以实现一个递归版本的 checker，叫作 andify[②]：

```
function andify(/* preds */) {
  var preds = _.toArray(arguments);

  return function(/* args */) {
    var args = _.toArray(arguments);
```

① ECMAScript6 提议尾递归调用优化，我们只能是默默期待了。http://wiki.ecmascript.org/doku.php?id=harmony:proper_tail_calls。

② 用 Underscore 的 every 方法也能使 andify 短路，知道怎么做到的吗？

```
    var everything = function(ps, truth) {
      if (_.isEmpty(ps))
        return truth;
      else
        return _.every(args, _.first(ps))
               && everything(_.rest(ps), truth);
    };

    return everything(preds, true);
  };
}
```

注意，andify 返回的递归调用非常有意思。由于逻辑与运算符&&是“惰性的”，递归调用不会发生，因此_.every 测试会失败。这种类型的懒惰被称为“短路”，它在避免不必要的计算时很有用。值得注意的是，我用的是本地函数 everything，来消耗在 andify 中的谓词函数。使用嵌套函数是隐藏递归调用累加器的常用方法。

观察 andify 的操作：

```
var evenNums = andify(_.isNumber, isEven);

evenNums(1,2);
//=> false

evenNums(2,4,6,8);
//=> true

evenNums(2,4,6,8,9);
//=> false
```

orify 的实现几乎与 andify 一样，除了一些逻辑会反转[①]。

```
function orify(/* preds */) {
  var preds = _.toArray(arguments);

  return function(/* args */) {
    var args = _.toArray(arguments);

    var something = function(ps, truth) {
      if (_.isEmpty(ps))
        return truth;
      else
        return _.some(args, _.first(ps))
               || something(_.rest(ps), truth);
    };

    return something(preds, false);
  };
}
```

① 你知道吗，orify 函数也可以用 Underscore 的某函数实现。

跟 andify 一样，_.some 函数也不会成功，orify 返回的函数也发生了短路。注意：

```
var zeroOrOdd = orify(isOdd, zero);

zeroOrOdd();
//=> false

zeroOrOdd(0,2,4,6);
//=> true

zeroOrOdd(2,4,6);
//=> false
```

自递归函数的讨论就到此为止，但我还没有用递归做任何事情。别着急，还有另一种方式来实现递归，它还有一个朗朗上口的名字：相互递归。

6.2 相互关联函数（函数调用其他会再调用回它的函数）

两个或多个函数相互调用被称为相互递归。下面来看两个非常简单的相互递归函数的例子，用谓词函数来检查偶数和奇数：

```
function evenSteven(n) {
  if (n === 0)
    return true;
  else
    return oddJohn(Math.abs(n) - 1);
}

function oddJohn(n) {
  if (n === 0)
    return false;
  else
    return evenSteven(Math.abs(n) - 1);
}
```

相互递归调用来回反弹彼此之间递减某个绝对的值，直到一方或另一方达到零。这是一个相当优雅的解决方式：

```
evenSteven(4);
//=> true

oddJohn(11);
//=> true
```

如果你坚持严格使用高阶函数，那么你很可能会频繁地遇到互斥函数。举个例子，比如说_.map 函数。把自身传入_.map 其实就是一种间接相互递归的方式。下面来

看看一个将数字展平的函数[①]：

```
function flat(array) {
  if (_.isArray(array))
    return cat.apply(cat, _.map(array, flat));
  else
    return [array];
}
```

flat 有点微妙，但问题是，为了展平一个嵌套数组，它为每一个嵌套元素都建立一个数组，并在递归返回时将它们都串联起来。

```
flat([[1,2],[3,4]]);
//=> [1, 2, 3, 4]

flat([[1,2],[3,4,[5,6,[[[7]]],8]]]);
//=> [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]
```

这种使用相互递归的方式相当模糊，但是非常适合使用高阶函数。

6.2.1 使用递归深克隆

另一个例子，用递归来实现“深”克隆对象的函数是个不错的选择。Underscore 有一个_.clone 函数，但它只是“浅”克隆（只复制对象的第一级）：

```
var x = [{a: [1, 2, 3], b: 42}, {c: {d: []}}];

var y = _.clone(x);

y;
//=> [{a: [1, 2, 3], b: 42}, {c: {d: []}}];

x[1]['c']['d'] = 1000000;

y;
//=> [{a: [1, 2, 3], b: 42}, {c: {d: 1000000}}];
```

虽然在很多情况下，_.clone 可能是有用的，但有些时候你真的想克隆一个对象及其所有子对象[②]。递归是完成这个任务的完美方式，因为它让我们可以遍历一个对象上的所有子对象，在遍历的过程可以进行复制。deepClone 的递归实现如下所示，可能鲁棒性还不足以使用在产品环境中：

```
function deepClone(obj) {
  if (!existy(obj) || !_.isObject(obj))
    return obj;
```

① 更好的方式是用 Underscore 的 flatten 方法。

② 我使用了 JavaScript 圈里常用的术语“克隆”。在其他原型语言（例如，Self 或 IO）中，克隆操作会委托给原来的对象，直到做了变更出现，再由此克隆出副本。

```
  var temp = new obj.constructor();
  for (var key in obj)
    if (obj.hasOwnProperty(key))
      temp[key] = deepClone(obj[key]);
  return temp;
}
```

当 deepClone 遇到一个原始类型，如数字，将会直接返回。然而，它遇到一个对象时，它会认为是一个关联结构，会递归地拷贝所有的键/值映射关系。我选择使用 obj.hasOwnProperty(key)，以确保不复制原型上的字段。我倾向于使用对象作为关联的数据结构（如 map），并避免将数据放置到原型上，除非必须这样做。deepClone 的使用方式如下所示：

```
var x = [{a: [1, 2, 3], b: 42}, {c: {d: []}}];

var y = deepClone(x);

_.isEqual(x, y);
//=> true

y[1]['c']['d'] = 42;

_.isEqual(x, y);
//=> false
```

deepClone 的实现是不是非常有趣，特别是 JavaScript 一切都是对象这一事实让该递归解决方案既紧凑又优雅。在下一节中，我将使用相互递归重新实现 depthSearch，这次会真正做一些事情。

6.2.2 遍历嵌套数组

像 deepClone 一样遍历嵌套对象看起来不错，但是却不是必要的。然而，一个更为普遍的现象是需要遍历一个嵌套数组的数组。很多时候，你会看到下面这种模式：

```
doSomethingWithResult(_.map(someArray, someFun));
```

调用_.map 的结果被传递到另一个函数，以便进一步处理。确保自身的抽象是很常见的，我把它叫做 visit，在这里实现：

```
function visit(mapFun, resultFun, array) {
  if (_.isArray(array))
    return resultFun(_.map(array, mapFun));
  else
    return resultFun(array);
}
```

visit 函数需要两个函数以及一个数组来处理。mapFun 对数组中的每个元素进行调用，将得到的数组传递到 resultFun 进行最后的处理。如果传入 array 的不是数组，那

么我只需运行 resultFun 就可以了。用部分应用实现这样的函数是非常有用的，因为其中个别函数可以用部分应用来缩减 visit 中的多余操作。现在来观察如何使用 visit：

```
visit(_.identity, _.isNumber, 42);
//=> true

visit(_.isNumber, _.identity, [1, 2, null, 3]);
//=> [true, true, false, true]

visit(function(n) { return n*2 }, rev, _.range(10));
//=> [18, 16, 14, 12, 10, 8, 6, 4, 2, 0]
```

使用与 flat 同样的原理，可以使用 visit 来实现的相互递归版本的 depthSearch，叫做 postDepth[①]。

```
function postDepth(fun, ary) {
  return visit(partial1(postDepth, fun), fun, ary);
}
```

叫做 postDepth 的原因是，深度优先遍历在扩展每个节点的子节点后进行 mapFun。一个相关的函数 preDepth，在扩展子节点前调用执行 mapFun，其实现如下：

```
function preDepth(fun, ary) {
  return visit(partial1(preDepth, fun), fun, fun(ary));
}
```

前置深度优先搜索中有大量的 fun，但原理非常简单，在移动到其他元素之前执行函数调用。让我们来看看 postDepth 如何工作：

```
postDepth(_.identity, influences);
//=> [['Lisp','Smalltalk'], ['Lisp','Scheme'], ...
```

将_.identity 函数传到*Depth 函数并返回 influences 数组的副本。函数 evenSteven，oddJohn，postDepth 和 visit 的执行策略本身就是一个类图的模型，如图 6-6 所示。

如果我想大写 Lisp 的所有实例，有一个函数可以做到这一点：

```
postDepth(function(x) {
  if (x === "Lisp")
    return "LISP";
  else
    return x;
}, influences);

//=> [['LISP','Smalltalk'], ['LISP','Scheme'], ...
```

所以规则是，如果我想改变一个节点，然后我用它做点什么，并返回新的值；否则，

① 该 JSON.parse 方法接收一个可选的“reviver”函数，而且行为与 postDepth 类似。也就是说，解析完成会传入 reviver 函数，reviver 的返回值会变成 JSON.parse 的返回值。Reviver 的用法很多，但也许最常见的是将 Date 转成字符串。

我只是返回的节点。当然，原始数组不会被修改：

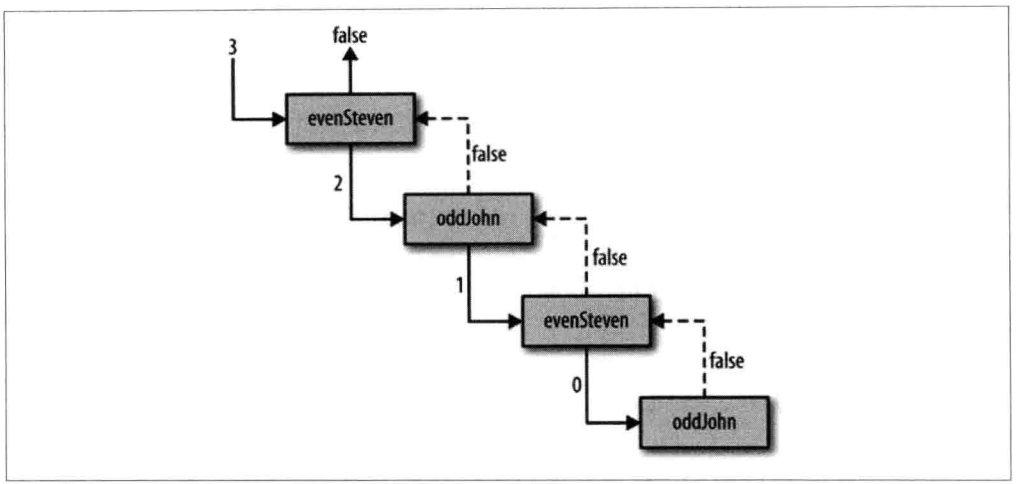


图 6-6　相互递归函数以类似图的方式执行

```
influences;
//=> [['Lisp','Smalltalk'], ['Lisp','Scheme'], ...
```

如果我想建立所有被影响的语言数组，我可以按照如下步骤来实现：

```
function influencedWithStrategy(strategy, lang, graph) {
  var results = [];

  strategy(function(x) {
    if (_.isArray(x) && _.first(x) === lang)
      results.push(second(x));

    return x;
  }, graph);
  return results;
}
```

influencedWithStrategy 是采用深度优先搜索的函数之一。它遍历整个图，并沿途建立影响语言的数组：

```
influencedWithStrategy(postDepth, "Lisp", influences);
//=> ["Smalltalk", "Scheme"]
```

虽然我通过改变一个数组来生成构建的结果，但是该操作被限制在 influenced WithStrategy 内部。

6.3　太多递归了

正如前面尾递归那节提到的，目前即使技术上是可以的，但 JavaScript 引擎没有优

化递归调用。因此，在使用或写递归函数时，你有可能会偶尔碰到下面的错误：

```
evenSteven(100000);
// Too much recursion (or some variant)
```

这种错误（称为“blowing the stack”[①]）是因为 evenSteven 和 oddJohn 互相调用，使每个函数都被调用数千次才使得其中一方达到零。因为大多数 JavaScript 实现对递归调用的次数有限制，这样的函数很容易“blow stack”（Zakas，2010）。

在本节中，我将简单介绍一下所谓的蹦床（trampoline）原理的控制结构，这将有助于消除这些类型的错误。它的基本原理是，使用蹦床展平调用，而不是深度嵌套的递归调用。在继续之前，我们来看看如何手动修复 evenSteven 和 oddJohn 使得递归调用不会溢出。一个办法是返回一个函数，它包装调用，而不是直接调用。我可以使用 partial1 来实现这一点：

```
function evenOline(n) {
  if (n === 0)
    return true;
  else
    return partial1(oddOline, Math.abs(n) - 1);
}

function oddOline(n) {
  if (n === 0)
    return false;
  else
    return partial1(evenOline, Math.abs(n) - 1);
}
```

我们返回一个包装函数而不是直接进行 evenOline 和 oddOline 的互相调用。调用两个函数的终止情况都正常工作：

```
evenOline(0);
//=> true

oddOline(0);
//=> false
```

现在，我可以手动试试用相互递归来展平数组：

```
oddOline(3);
//=> function () { return evenOline(Math.abs(n) - 1) }

oddOline(3)();
//=> function () { return oddOline(Math.abs(n) - 1) }
```

① 译者注：这里是双关，blowing stack 本意是大发雷霆，这里指栈溢出。

```
oddOline(3)()();
//=> function () { return evenOline(Math.abs(n) - 1) }

oddOline(3)()()();
//=> true

oddOline(200000001)()()(); //... a bunch more ()s
//=> true
```

我想可以向用户暴露这个 API 了。但你可能想提供另一个函数 trampoline，从程序执行来进行扁平化处理：

```
function trampoline(fun /*, args */) {
  var result = fun.apply(fun, _.rest(arguments));

  while (_.isFunction(result)) {
    result = result();
  }

  return result;
}
```

trampoline 所做的是不断调用函数的返回值，直到它不再是一个函数。你可以看看它具体是如何工作的：

```
trampoline(oddOline, 3);
//=> true

trampoline(evenOline, 200000);
//=> true

trampoline(oddOline, 300000);
//=> false

trampoline(evenOline, 200000000);
// wait a few seconds
//=> true
```

由于调用链的间接性，使用蹦床增加了相互递归函数的一些开销。然而，慢总比溢出好。同样，你可能不希望强迫用户使用 trampoline，只是为了避免堆栈溢出。其实也可以隐藏其外观：

```
function isEvenSafe(n) {
  if (n === 0)
    return true;
  else
    return trampoline(partial1(oddOline, Math.abs(n) - 1));
}

function isOddSafe(n) {
  if (n === 0)
    return false;
```

```
    else
      return trampoline(partial1(evenOline, Math.abs(n) - 1));
  }
```

试试这些函数是否正常工作：

```
isOddSafe(2000001);
//=>true

isEvenSafe(2000001);
//=> false
```

6.3.1 生成器

我将用几个无限的例子结束本节。使用递归，我可以演示如何构建和操作无限的“惰性”数据流，并同样相互调用函数，直到太阳燃尽。我说的惰性的意思是直到需要的时候才会计算。下面来看看前面定义的 cycle 函数：

```
_.take(cycle(20, [1,2,3]), 11);
//=> [1, 2, 3, 1, 2, 3, 1, 2, 3, 1, 2]
```

在这个调用中，cycle 创建的数组不是惰性的，因为它在传递给_.take 之前就已经构造好了。尽管_.take 只需要 11 个元素，但是却传入了全部 60 个元素。这是非常低效的，但 Underscore 以及 JavaScript 本身却默认这样干。

然而，对数组应该把它看成是由第一个元素以及其余部分组成的。事实上，Underscore 也提供了_.first 和_.rest 方法来支持这种看法。一个无限数组同样可以被看作第一个元素“first”以及其余部分“tail”。然而，与有限的阵列不同的是，无限阵列的尾部可能不存在。把头部和尾部放到一个对象里可能有助于理解这个概念（Houser，2013）：

```
{head: aValue, tail: ???}
```

问题出现了：tail 存放的是什么？答案很简单，跟 oddOline 一样，只需要一个可以计算尾部的尾部函数。而且这个函数应该是一个递归函数。

这个头尾部对象需有两个函数：一个用来计算当然元素值的函数和另一个用来计算下一元素“种子”值的函数。实际上，这种结构正是所谓的生成器的概念，或者说是一个按照需求产生后续值的函数。理解了这一点，那么来看看 generator 的实现[①]。

```
function generator(seed, current, step) {
  return {
    head: current(seed),
    tail: function() {
```

① 调用 console.log 仅用于演示目的。

```
        console.log("forced");
        return generator(step(seed), current, step);
      }
    };
  }
```

如上所示，current 参数是计算头部位置的值的函数，step 用于将值传给递归调用。tail 的关键在于，它是包裹在一个 function 中，只有调用时才会是值。还可以实现一些操作生成器的函数：

```
function genHead(gen) { return gen.head }
function genTail(gen) { return gen.tail() }
```

genHead 和 genTail 函数会返回头部和尾部。然而，尾部会被“强制”执行。这里先让我创建一个生成器：

```
var ints = generator(0, _.identity, function(n) { return n+1 });
```

使用 generator 函数，可以定义整数范围。现在，使用访问头尾部的函数，我就可以开始采摘走头部：

```
genHead(ints);
//=> 0

genTail(ints);
// (console) forced
//=> {head: 1, tail: function}
```

调用 genHead 不会取 ints 的尾部，但调用 genTail 时会去取。嵌套的调用 genTail 会迫使生成器深度生成响应深度的数字：

```
genTail(genTail(ints));
// (console) forced
// (console) forced
//=> {head: 2, tail: function}
```

只需用这两个函数，我就建立一个更强大的存取函数 genTake，可以随着调用生成相应的前 n 项：

```
function genTake(n, gen) {
  var doTake = function(x, g, ret) {
    if (x === 0)
      return ret;
    else
      return partial(doTake, x-1, genTail(g), cat(ret, genHead(g)));
  };

  return trampoline(doTake, n, gen, []);
}
```

如上所示，genTake 是利用蹦床实现的。终于，这种有可能引起溢出的调用似乎有

用了。下面来看看如何使用 genTake：

```
genTake(10, ints);
// (console) forced x 10
//=> [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]

genTake(100, ints);
// (console) forced x 100
//=> [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, ..., 98, 99]

genTake(1000, ints);
// (console) forced x 1000
//=> Array[1000]

genTake(10000, ints);
// (console) forced x 10000
// wait a second
//=> Array[10000]

genTake(100000, ints);
// (console) forced x 100000
// wait a minute
//=> Array[100000]

genTake(1000000, ints);
// (console) forced x 1000000
// wait an hour
//=> Array[1000000]
```

利用“蹦床原理”可以定义一个无限大的结构，按照需求计算而不会堆栈溢出。但是创建生成器 generator 有一个巨大的缺陷：尾部元素在被访问之前都不会被计算，也意味着每次访问都需要再重新计算一次：

```
genTake(10, ints);
// (console) forced x 10
//=> [0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]
```

比如 genTake 计算前 10 项，如果不再跑一次，其实看起来也不错，然而创建一个全面的生成器已经超出本书的范围[①]。

当然，天下没有免费的午餐，使用蹦床时也是如此。我会尽可能使用堆，而不是栈。因为堆比调用栈大得多，所以你使用蹦床时不太可能碰到内存耗尽的问题。

如果不直接使用蹦床，一般的“蹦床化（trampolineness）”的思想在 JavaScript 中其实一文不值。

① ECMAScript.next 正试着设计生成器。更多信息可以参考 ECMAScript 的网站。

6.3.2 蹦床原理以及回调

对于异步 JavaScript API 如 setTimeout 或 XMLHttpRequest 库（jQuery 的$.ajax），相关的递归的讨论是十分有趣的。异步库工作在事件循环上是非阻塞的。也就是说，如果你使用异步 API 来安排一个可能需要很长的时间的任务，那么浏览器或运行时不会阻塞等待它完成。相反，每个异步 API 需要一个任务完成时可以调用的“回调”（就是函数或闭包）。这可以让你（有效）执行并发任务，其中一些需要长时间运行的操作，而不会阻塞你的应用程序的运行[①]。

非阻塞 API 的一个有趣的特点是，调用在回调执行之前立即返回。而这些回调会在不太遥远的未来被执行[②]。

```
setTimeout(function() { console.log("hi") }, 2000);
//=> returns some value right away
// ... about 2 seconds later
// hi
```

立即返回真正有趣的是，JavaScript 每一次时钟会清理事件循环上的调用堆栈。这样异步回调总是会在一次新的时钟到来时执行！注意观察以下代码：

```
function asyncGetAny(interval, urls, onsuccess, onfailure) {
  var n = urls.length;

  var looper = function(i) {
    setTimeout(function() {
      if (i >= n) {
        onfailure("failed");
        return;
      }

      $.get(urls[i], onsuccess)
        .always(function() { console.log("try: " + urls[i]) })
        .fail(function() {
          looper(i + 1);
        });
    }, interval);
  }

  looper(0);
  return "go";
}
```

你会发现，在调用 jQuery 的异步调用$.get 函数失败时会递归调用 looper。这个调用（原则上）跟其他相互递归调用没有什么不同，唯一不一样的是在于每次调用发

① 需要注意的是，你的应用程序可能还是会因为各种原因阻塞。但如果正确使用，JavaScript 的事件架构将帮助你避免这些阻塞。

② 也可能会是下周末。

生堆栈上的调用栈都被清空。下面来看看完整的例子 asyncGetAny[①]：

```
var urls = ['http://dsfgfgs.com', 'http://sghjgsj.biz', '_.html', 'foo.txt'];

asyncGetAny(2000,
  urls,
  function(data) { alert("Got some data") },
  function(data) { console.log("all failed") });
//=> "go"

// (console after 2 seconds) try: http://dsfgfgs.com
// (console after 2 seconds) try: http://sghjgsj.biz
// (console after 2 seconds) try: _.html

// an alert box pops up with 'Got some data' (on my computer)
```

有一些比本书更好地描述 JavaScript 异步编程的资源，但我觉得提到事件循环和递归的独特性能就足够了。在实践中，使用事件循环可以使 JavaScript 应用程序获得最大的效率。

6.4 递归是一个底层操作

本章主要介绍如何创建、使用和理解递归。尽管递归很有用，但我还是要提醒一句：递归应该被看作一个底层操作，应该尽可能地避免。更好的途径是利用现有的高阶函数来创造新的函数。例如我实现的 influencedWithStrategy，虽然方式很巧妙，但却是完全不必要的。我应该知道用已有的函数可以混合出同样的效果。首先，我可以创建两个辅助函数：

```
var groupFrom = curry2(_.groupBy)(_.first);
var groupTo   = curry2(_.groupBy)(second);
```

因为我使用的是一个简单的嵌套数组来表示我的图关系，创造新的函数来进行操作跟重用已有的数值函数似乎没什么区别。看看 groupFrom 和 groupTo 的效果：

```
groupFrom(influences);
//=> {Lisp:[["Lisp", "Smalltalk"], ["Lisp", "Scheme"]],
//    Smalltalk:[["Smalltalk", "Self"]],
//    Scheme:[["Scheme", "JavaScript"], ["Scheme", "Lua"]],
//    Self:[["Self", "Lua"], ["Self", "JavaScript"]]}

groupTo(influences);
//=> {Smalltalk:[["Lisp", "Smalltalk"]],
//    Scheme:[["Lisp", "Scheme"]],
```

① 我使用了 jQuery 的 promise 接口 always 与 fail，使得 GET 请求的接口更流利。因为并发执行的原因，不能保证 console 打印会在得到 GET 结果之前还是之后打印出来。我会在第 8 章再解释 jQuery 的 promises。

```
//    Self:[["Smalltalk", "Self"]],
//    JavaScript:[["Scheme", "JavaScript"], ["Self", "JavaScript"]],
//    Lua:[["Scheme", "Lua"], ["Self", "Lua"]]}
```

这些函数比较好玩，但它们还不够。再用函数 influenced 来找到图中的环：

```
function influenced(graph, node) {
  return _.map(groupFrom(graph)[node], second);
}
```

这就是与递归 influencedWithStrategy 同样功能的函数：

```
influencedWithStrategy(preDepth, 'Lisp', influences);
//=> ["Smalltalk", "Scheme"]

influenced(influences, 'Lisp');
//=>["Smalltalk", "Scheme"]
```

这样 influences 的实现不仅减少了代码量，而且概念也是非常容易理解的。我已经知道_.groupBy、_.first、second 和_.map 的用法，所以要了解 influenced 是了解数据在函数间是如何转换的。这就是函数式编程的一大优势所在，如同乐高积木，数据流在函数管道中不断转换成最终需要的数据形式。

这才是美丽的编程。

6.5 总结

本章涉及递归，也就是函数直接或间接地调用自己。自调用函数是搜索以及处理嵌套数据结构的强大工具。对于搜索，我通过使用 visit 函数遍历树的例子，介绍了深度优先搜索函数。

虽然树的遍历是一个强大的技术，但是却遇到 JavaScript 对递归调用的基本限制。然而，使用一种称为蹦床的技巧，展示了如何通过闭包数组间接地互相调用。

最后，我觉得有必要退后一步，谨慎使用递归。很多时候，递归函数没有组合高阶函数那么直接。普遍的共识是，首先使用函数组合，仅当需要时才使用递归和蹦床。

在下一章中，我将介绍函数式编程的一个常见话题——突变（mutation），也就是改变变量的值，以及如何限制及避免修改变量。

第 7 章

纯度、不变性和更改政策

本章要探索完全函数式以及实用风格。函数式编程不仅仅只关心函数，也是思考如何尽量降低软件复杂性的一种方式。而降低复杂性的一种方法是减少甚至消除程序中的状态变化。

7.1 纯度

如果你需要一个大于 0 且小于某个数的（伪）随机数，完全可以使用 Underscore 的_.random 函数，不过其默认为包括零。我们可以简单地创建一个随机数函数 rand：

```
var rand = partial1(_.random, 1);
```

使用 rand 很简单，只要执行以下操作：

```
rand(10);
//=> 7

repeatedly(10, partial1(rand, 10));
//=> [2, 6, 6, 7, 7, 4, 4, 10, 8, 5]

_.take(repeatedly(100, partial1(rand, 10)), 5);
//=> [9, 6, 6, 4, 6]
```

还可以利用 rand 生成一定长度的随机小写 ASCII 字符串与数字，如下所示：

```
function randString(len) {
  var ascii = repeatedly(len,  partial1(rand, 26));
      return _.map(ascii, function(n) {
        return n.toString(36);
      }).join('');
    }
```

使用 randString 的方法如下：

```
randString(0);
//=> ""

randString(1);
//=> "f"

randString(10);
//=> "k52k7bae8p"
```

构建 randString 函数的方式已经贯穿于整本书的过程中。用函数来构造更高层次函数是我们一贯的作风。虽然 randString 技术上符合这个定义，但是 randString 与之前的函数有一点大不相同。究竟是什么？来先回答另外一个问题：如何测试 randString?

7.1.1 纯度和测试之间的关系

你会如何测试函数 randString？也就是说，如果你正在使用类似 Jasmine[①] 为 randString 写一个测试，你将如何完成下面的代码片段?

```
describe("randString", function() {
  it("builds a string of lowercase ASCII letters/digits", function() {
    expect(randString()).to???(???);
  });
});
```

标记???中到底应该放什么才能使得测试通过？你可以尝试给定一个字符串，但是这将是浪费时间，因为结果是随机的。现在 randString 的问题已经很明显是没有办法预测调用的结果。这就跟函数_.map 每次调用的结果都是由参数确定的情况完全不一样：

```
describe("_.map", function() {
  it("should return an array made from...", function(){
    expect(.map([1,2,3], sqr)).toEqual([1, 4, 9]);
  });
});
{
    expect(_.map([1,2,3], sqr)).toEqual([1, 4, 9]);
  });
});
```

_.map 函数的操作可以用“纯（pure）”来描述。纯函数坚持以下属性。

- 其结果只能从它的参数的值来计算。

① Jasmine 是一个非常好用的测试框架，我个人使用，并强烈推荐。

- 不能依赖于能被外部操作改变的数据。
- 不能改变外部状态。

以 randString 为例，它就违反了纯度的第一条规则，因为它的计算没有使用任何参数。同时，也违反了第二条规则，因为它的结果是完全依赖于 JavaScript 的随机数生成器，这相当于从一个黑箱子中拿出完全跟输入参数无关的值。这是语言级别上而不是随机生成器的问题。也就是说，你可以通过依赖调用者提供的“种子”值，创建一个纯粹的随机数生成器。

打破第一条规则的另一个例子：

```
PI = 3.14;

function areaOfACircle(radius) {
  return PI * sqr(radius);
}

areaOfACircle(3);
//=> 28.26
```

你可能已经看到了问题所在，为了完整起见，我们假定在网页中另一个库中载入了下面的代码片段：

```
// ... some code

PI = "Magnum";

// ... more code
```

调用 areaOfACircle 的结果是什么？

```
areaOfACircle(3);
//=> NaN
```

这种问题是因为在运行时可以加载任意代码，这样对象或者变量很容易被更改。因此，编写依赖于它的控制范围之外的数据的函数容易造成混乱。通常情况下，当你尝试测试依赖于外部条件的函数，测试用例也必须运行在相同的条件下。坚持纯度的标准不仅将有助于使程序更容易测试，也更容易推理。

7.1.2 提取纯函数

因为 JavaScript 的 Math.rand 方法从设计上讲都是不纯的，任何使用它的函数都将变成非纯函数，因此难以测试。纯函数可以通过建立一组输入值和输出的数据进行测试。JavaScript 中还有一些会导致不纯的函数或方法如 Date.now，console.log，this 和全局变量。事实上，因为 JavaScript 可以传递对象的引用，所以每一个接受对象

或者数组的函数都有可能不纯。我将在本节介绍如何缓解这些问题，但重点是，虽然 JavaScript 是不可能完全纯净的（可能我们也不希望这样），但我们可以将变化的影响降到最低限度。

randString 函数无疑是不纯的，但是有办法分离出纯的部分。如何划分 randString 还是比较清楚的：一个字符生成的部分，以及拼装的部分。要分离纯的部分很简单，只要创建两个函数：

```
function generateRandomCharacter() {
  return rand(26).toString(36);
}

function generateString(charGen, len) {
  return repeatedly(len, charGen).join('');
}
```

变更 generateString 的实现（让它显式地接收一个字符生成函数），就可以按如下模式使用：

```
generateString(generateRandomCharacter, 20);
//=> "2lfhjo45n2nfnpbf7m7e"
```

此外，由于 generateString 是一个高阶函数，我可以使用 partial 来组合原本不纯的 randomString ：

```
var composedRandomString = partial1(generateString, generateRandomCharacter);

composedRandomString(10);
//=> "j18obij1jc"
```

现在所有纯的部分已经封装在函数内，可以单独对它进行测试：

```
describe("generateString", function() {
  var result = generateString(always("a"), 10);
  it("should return a string of a specific length", function() {
    expect(result.constructor).toBe(String);
    expect(result.length).toBe(10);
  });

  it("should return a string congruent with its char generator", function() {
    expect(result).toEqual("aaaaaaaaaa");
  });
});
```

要测试不纯的 generateRandomCharacter 函数还是有问题，但是 generateString 已经变得通用，易测试。

7.1.3 测试不纯函数的属性

如果一个函数是不纯的，它的返回值是受其外部条件的影响的，那么如何进行测试

呢？假设你能成功地缩减不纯的部分到最低限度，像 generateRandomCharacter 那样，那么测试会变得比较容易。虽然你不能测试特定用例的返回值，但你可以测试它的某些特性。在 generateRandomCharacter 这个例子里，我可以测试以下特性。

- ASCII。
- 数字。
- 字符串。
- 字符。
- 小写。

然而，测试所有这些特性需要大量的数据：

```
describe("generateRandomCharacter", function() {
  var result = repeatedly(10000, generateRandomCharacter);

  it("should return only strings of length 1", function() {
    expect(_.every(result, _.isString)).toBeTruthy();
    expect(_.every(result, function(s) { return s.length === 1 })).toBeTruthy();
  });

it("should return a string of only lowercase ASCII letters or digits", function()
{
  expect(_.every(result, function(s) {
    return /[a-z0-9]/.test(s) })).toBeTruthy();


    expect(_.any(result, function(s) { return /[A-Z]/.test(s) })).toBeFalsy();
  });
});
```

只测试 generateRandomCharacter 的 10000 个结果离完整的测试覆盖率是远远不够的。你可以增加迭代次数，但永远不会完全满意。同样，还好知道生成的字符会落在一定范围内。事实上，我的实现限制了生成所有合法小写 ASCII 字符，那么我们到底在测什么？我一直在测试错误的解决方案。解决创建错误东西的问题是一个哲学的问题，而且远远超出了本书的深度。对于随机密码生成而言，这可能是一个问题，但对于展现不纯的代码片段的分离和检测的目的，我的实现应该足够了。

7.1.4 纯度与引用透明度的关系

使用纯函数编程可能看起来限制特别多。JavaScript 作为一个高度动态的语言，允许用户定义和使用不需要严格遵守参数或返回值类型的函数定义。有时，这种松散标准导致了不确定性（例如 true + 1 === 2），但你也可以利用这一点，获得更灵活

的优势。很多时候，JavaScript 程序员将允许随意形态的变量，对象和数组插槽看作动态性的精髓部分。然而，当你实际上随意使用状态突变，其实会限制组合的能力，并且使得推理变得更复杂；当你随意改变状态，实际上局限了组合的可能性，并使得代码难以梳理，导致测试难以进行。

而使用纯函数，则使得函数组合更容易，甚至可以随意替换具有同等功能的函数，甚至期望值。举个例子，我们使用 nth 函数来定义第 1 章的 second 函数：

```
function second(a) {
  return nth(a, 1);
}
```

这里 nth 函数是一个纯函数。也就是说，它的唯一依赖就是数组参数。它对给定的数组和索引的返回总是相同的：

```
nth(['a', 'b', 'c'], 1);
//=> 'b'

nth(['a', 'b', 'c'], 1);
// 'b'
```

你可以运行这个调用 10 亿次，只要 nth 接收数组['a', 'b', 'c']和数字 1，它总是返回字符串'b'。同样，nth 函数永远不会修改传给它的数组：

```
var a = ['a', 'b', 'c'];

nth(a, 1);
//=> 'b'

a === a;
//=> true

nth(a, 1);
//=> 'b'

_.isEqual(a, ['a', 'b', 'c']);
//=> true
```

但是 JavaScipt 有一个我们不得不接受的限制因素，就是 nth 函数可能会返回对象、数组，甚至是不纯的函数：

```
nth([{a: 1}, {b: 2}], 0);
//=> {a: 1}

nth([function() { console.log('blah') }], 0);
//=> function ...
```

解决这个问题的唯一方法是严格遵守不修改这一点，同时也不依赖于外部值，将影响减至最低。当认识到必须保持纯洁的函数的重要性时，你会得到更多的编程选项。

例如，我可以替换 nth 函数，而保持功能完全一样[①]。

```
function second(a) {
  return a[1];
}
```

或者

```
function second(a) {
  return _.first(_.first(a));
}
```

在这两种情况下，second 的行为都没有任何改变。因为 nth 是一个纯函数，这样替换实在太轻松了。实际上，由于 nth 是纯函数，可以很轻松地更换它的返回值而仍然能保持程序的一致性：

```
function second() {
  return 'b';
}

second(['a', 'b', 'c'], 1);
//=> 'b'
```

这种能随意更换新函数而不需要关心随之带来的混淆显示出程序组合的灵活性。接下来我将介绍有关纯粹性与引用透明的话题。

7.1.5 纯度和幂等性

随着 RESTful 风格 API 的日益盛行，幂等的想法最近得到了广泛认同。幂等性是指执行无数次后还具有相同的效果。幂等性在函数式编程中与纯度相关，但不尽相同。形式上，一个幂等函数可以做到：

```
someFun(arg) == _.compose(someFun, someFun)(arg);
```

换句话说，对同一的参数运行一次函数应该与连续两次运行是一个结果，相当于 someFun(someFun(arg))。例如前面提到的 second 函数，就不是幂等的：

```
var a = [1, [10, 20, 30], 3];

var secondTwice = _.compose(second, second);

second(a) === secondTwice(a);
//=> false
```

当然调用一次 second 时返回数组[10, 20, 30]，因此 secondTwice 返回嵌套值 20。最简单的幂函数可能是 Underscore 的_.identity 函数：

① 这是不完全正确的，因为 nth 检查数组边界，当索引超过数组的长度时抛出一个错误。当改变底层实现，做到心中有数，保证不偏离原始行为。

```
var dissociativeIdentity = _.compose(_.identity, _.identity);

_.identity(42) === dissociativeIdentity(42);
//=> true
```

JavaScript 的 Math.abs 方法也是幂等的：

```
Math.abs(Math.abs(-42));
//=> 42
```

其实也不必为了坚持追求纯函数而牺牲了动态性。但是，请记住，任何时候显式地改变一个变量时，不管它是在一个容器对象（在本章后面）或封装在一个闭包，甚至直接修改，你都引入了一个时间敏感的状态。也就是说，在程序执行的任何给定的时刻，程序的状态都取决于微妙变化之间的相互作用。即使你可能无法消除程序中的所有状态的变换，也应该尽量减少。我会在本章后面部分深入如何分离变化，但首先，与函数纯度相关是不变性的想法，或者说缺乏明确的状态变化。

7.2 不变性

JavaScript 中很少有默认不可变的数据类型。而字符串是为数不多的不可变数据类型的例子：

```
var s = "Lemongrab";

s.toUpperCase();
//=> "LEMONGRAB"

s;
//=> "Lemongrab"
```

字符串不可变其实是一件好事，因为很可能会出现类似下面这种情况[①]。

```
var key = "lemongrab";
var obj = {lemongrab: "Earl"};

obj[key] === "Earl";
//=> true

doSomethingThatMutatesStrings(key);

obj[key];
//=> undefined

obj["lemonjon"];
//=> "Earl"
```

① Ruby 编程语言允许字符串突变，之前的 1.9 版本就是这个陷阱的牺牲品。然而，Ruby 1.9 的哈希对象复制字符串键，因此屏蔽了突变。不幸的是，它仍然允许可变对象作为键，因此这些突变能够破坏哈希查找。

这是一个不可预测的事件。平常可能难以遇到这样的问题，但如果有字符串突变成为一种普遍现象，那么这类问题将会频繁出现。值得庆幸的是，在 JavaScript 中，字符串是不可变的，因此不会出现这样讨厌的问题。但是，下面这种突变在 JavaScript 中是允许的[①]。

```
var obj = {lemongrab: "Earl"};

(function(o) {
  _.extend(o, {lemongrab: "King"});
})(obj);

obj;
//=> {lemongrab: "King"}
```

虽然庆幸字符串不可变，但是 JavaScript 对象是可变的。事实上，大部分的 JavaScript 都借此可变性的优势。然而，随着 JavaScript 在行业中逐渐流行，使用它编写的程序也越来越大。想象一下，如图 7-1 所示的小程序中的突变依赖关系。

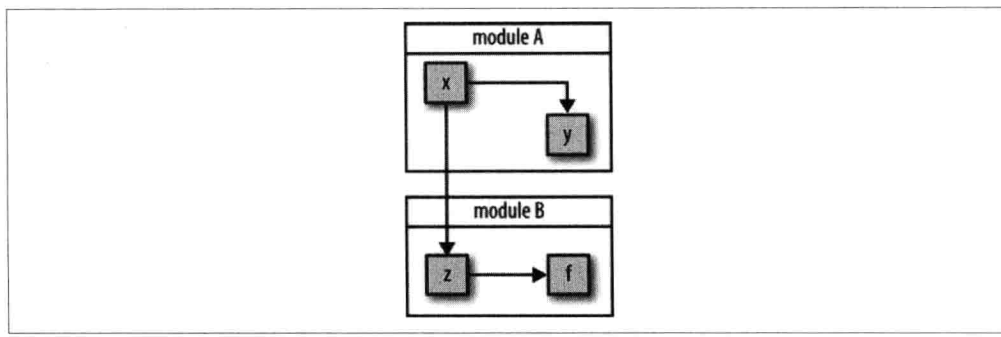


图 7-1　即便是可管理的小程序中，“突变的网络”也很复杂

然而，由于该程序的增长，“突变网络”随之增加，每个节点都会依赖于更多节点，如图 7-2 所示。

这些状态不容易维护。如果每次变化都会通过突变网络广泛扩散，那么任何更改都会影响整体[②]。在函数式编程中，理想的情况是没有突变。如果你一开始就遵守不变性原则，你会惊奇地发现你能走得很远。在本节中，我将讨论不变性的优点，以及如何遵守它的规范。

① 我被 Underscore 的 extend 函数愚弄过一次，但实际上是我自己认为它是一个纯函数。当我得知不是纯函数时，我意识到一个有趣的方式来利用这一事实的优势，你将会在第 9 章中看到。

② 这并不是说所有的 JavaScript 程序都是这样。在过去的几年里，出现了越来越注重规范的设计。特别值得注意的沿着这个主题的一篇文章是“不要修改不属于你的对象”（Zakas 2010）。

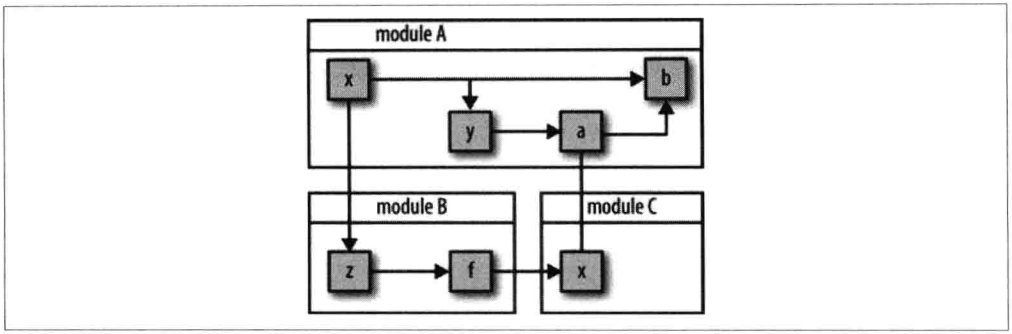


图 7-2　随着程序的扩大，“突变网络”也在蔓延

7.2.1　如果一棵树倒在树林里，有没有声音

通过本书你会发现，我经常在函数的实现中使用可变数组和对象。为了说明我的意思，请注意看函数 skipTake 的实现，当给定一个数 n 和一个数组，返回一个包含每第 n 个元素的数组：

```
function skipTake(n, coll) {
  var ret = [];
  var sz = _.size(coll);

  for(var index = 0; index < sz; index += n) {
    ret.push(coll[index]);
  }

  return ret;
}
```

使用 skipTake 的方法如下：

```
skipTake(2, [1,2,3,4]);
//=> [1, 3]
skipTake(3, _.range(20));
//=> [0, 3, 6, 9, 12, 15, 18]
```

在 skipTake 的实现中，我很刻意地用数组再加上一个命令式的循环进行 Array#push。有很多函数式的技术可以用来实现 skipTake，可以避免显式的突变。然而，用 for 循环简单，快捷。更重要的是，这种方式被完全封装在 skipTake 函数中而不会对用户暴露。把函数看成抽象的基本单元的优点是，任何给定的函数范围内，实现细节都是无关紧要的，只要它们不“泄漏（leak out）”。“泄露”的意思是，你可以使用一个函数作为状态突变的边界，完全隔绝于外部代码的变化。

不管我用_.foldRight 还是 while 来实现 skipTake，这对用户都是无关紧要的。他们所要知道或关心的只是获得一个新的数组，而且他们传入的数组不会被改变。

如果一棵树倒在树林里，有没有声音？

如果一个纯函数改变了一些局部数据来产生一个不可变的返回值，这样做可以吗？

——Rich Hickey http://clojure.org/transients

事实证明，答案是肯定的[①]。

7.2.2 不变性与递归

如果你读过跟我一样多的关于函数式编程的书籍，那么一个有趣的现象就出现了。几乎所的书都会覆盖递归和递归技术的话题。出现这种情况的原因有很多，但其中一个重要的原因是涉及纯度。在许多函数式编程语言中，你很难只使用局部变量实现函数 summ：

```
function summ(array) {
  var result = 0;
  var sz = array.length;

  for (var i = 0; i < sz; i++)
    result += array[i];

  return result;
}

summ(_.range(1,11));
//=> 55
```

该函数 summ 要改变两个局部变量：i 和 result。然而，在传统的函数语言中，局部变量实际上不是变量，是不可变的。唯一修改局部变量值的方法是通过调用堆栈去改变它，而这正是递归。下面是一个递归实现。

```
function summRec(array, seed) {
  if (_.isEmpty(array))
    return seed;
  else
    return summRec(_.rest(array), _.first(array) + seed);
}

summRec([], 0);
//=> 0

summRec(_.range(1,11), 0);
//=> 55
```

① 函数可以作为隐藏突变边界，但它不是唯一的方式。我将在第 8 章中展示，有可以隐藏突变的更大的边界。对象一直以来都是隐藏突变很好的边界，甚至是库和系统都利用对象加快突变速度并保持很好的函数式接口。

当使用递归，状态是通过函数参数管理，而变化是通过从一个递归调用的参数传给下一个[①]。JavaScript 允许这种递归的状态管理，但是有第 6 章中提到的递归深度限制。那么，为什么不使用更省时间的方式？我将在下一节讨论，改变局部状态的注意事项。

7.2.3 冻结和克隆

由于 JavaScript 按引用传递数组和对象，因此没有什么是不可变的。同样，JavaScript 对象的字段总是可见的，没有什么简单的方法使它们不可变（2005 戈茨）。不过确实有办法封装、隐藏数据，以避免意外的变化。但在最顶层，所有的 JavaScript 对象是可变的，除非冻结它们。

JavaScript 的最新版本提供了一种方法，当对一个对象或数组调用 Object#freeze，将导致所有后续的突变失败。在严格模式下使用的情况下，失败将会抛出一个 TypeError；否则，所有突变都会悄悄地失败。freeze 方法的工作原理如下：

```
var a = [1, 2, 3];

a[1] = 42;

a;
//=> [1, 42, 3]

Object.freeze(a);
```

一个正常的数组是默认可变的，但调用 Object#freeze 之后，发生以下情况：

```
a[1] = 108;

a;
//=> [1, 42, 3]
```

也就是说，突变将不再生效。你还可以使用 Object#isFrozen 方法来检查 a 是否确实冻结：

```
Object.isFrozen(a);
//=> true
```

使用 Object#freeze 来确保不变性容易有两个问题。

- 除非你能完全控制代码库，否则可能会导致微妙的（和不那么微妙的）错误。
- Object#freeze 是浅操作。

关于对象的冻结，虽然这可能是实践不可变性的一个好主意，但不是所有的库都支

① 递归函数的状态变化与第 3 章中介绍的用栈动态改变值的方式很像。

持这样做。冻结对象，并通过随意传给其他 API 可能会引起麻烦。然而，更深层次的问题是，Object#freeze 是一个浅操作。也就是说，冻结只会发生在最顶层，不会遍历嵌套对象。注意：

```
var x = [{a: [1, 2, 3], b: 42}, {c: {d: []}}];

Object.freeze(x);

x[0] = "";

x;
//=> [{a: [1, 2, 3], b: 42}, {c: {d: []}}];
```

试图改变数组第一个元素会失败。然而，改变 a 内的嵌套结构却成功了：

```
x[1]['c']['d'] = 100000;

x;
//=> [{a: [1, 2, 3], b: 42}, {c: {d: 100000}}];
```

如果想要深度冻结一个对象，我需要使用递归遍历数据结构，很像第 6 章的 deepClone：

```
function deepFreeze(obj) {
  if (!Object.isFrozen(obj))
    Object.freeze(obj);

  for (var key in obj) {
    if (!obj.hasOwnProperty(key) || !_.isObject(obj[key]))
      continue;

    deepFreeze(obj[key]);
  }
}
```

deepFreeze 函数与你所期望的一样：

```
var x = [{a: [1, 2, 3], b: 42}, {c: {d: []}}];

deepFreeze(x);

x[0] = null;

x;
//=> [{a: [1, 2, 3], b: 42}, {c: {d: []}}];

x[1]['c']['d'] = 42;

x;
//=> [{a: [1, 2, 3], b: 42}, {c: {d: []}}];
```

不过，正如我之前提到的，随意冻结对象可能会在与第三方的 API 进行交互时引入

微妙的错误。因此，你只有以下三个选项。

- 使用_.clone，如果你知道一个浅拷贝就足够了。
- 使用 deepClone 拷贝整套副本。
- 将你的代码建立在纯函数之上。

在这本书中，我选择了第三个选项，但你将会在第 8 章看到，我需要使用 deepClone，以确保函数纯度。现在，让我们来探讨函数式和以对象为中心的 API 保持不变性的想法。

7.2.4 在函数级别上观察不变性

根据一些规则以及下列技术，你可以创建不可变的对象和纯函数。

这本书中许多实现的函数，包括 Unserscore，都有一个共同的特点：它们接收集合并从它建立另一个集合。举个例子，一个函数 freq，接收数字或字符串数组，并返回以其元素作为键，出现次数作为值的对象：

```
var freq = curry2(_.countBy)(_.identity);
```

因为我知道，函数_.countBy 是一种非破坏性的操作（不改变输入数组），那么它与_.identity 的组合应该形成一个纯函数。注意：

```
var a = repeatedly(1000, partial1(rand, 3));
var copy = _.clone(a);

freq(a);
//=> {1: 498, 2: 502}
```

正如计数掷硬币正反面结果几乎是 50/50 一样。同样有趣的是，操作 freq 不会改变原数组 a：

```
_.isEqual(a, copy);
//=>true
```

注意观察纯函数实现有助于消除函数组合出来新的行为正确与否的担忧。如果你组合纯函数，结果也是纯函数。

因为我实现的 skipTake 也是纯函数，即使它在内部使用了可变的结构，它也可以安全地用于组合：

```
freq(skipTake(2, a));
//=> {1: 236, 2: 264}

_.isEqual(a, copy);
//=> true
```

然而，有时有一些函数不是那么配合，它们会改变对象的内容，从而带来不纯的因素。例如，_.extend 函数会合并左边的对象到右边，从而产生一个新的对象，如：

```
var person = {fname: "Simon"};

_.extend(person, {lname: "Petrikov"}, {age: 28}, {age: 108});
//=> {age: 108, fname: "Simon", lname: "Petrikov"}
```

当然，问题是，_.extend 改变的是参数列表中的第一个对象：

```
person;
//=> {age: 108, fname: "Simon", lname: "Petrikov"}
```

所以_.extend 的出现关闭了函数组合的大门，对不对？嗯，还没有。函数式编程的优点在于，只需稍稍修改就可以创建新的抽象。也就是说，比起使用“extend”，也许“merge”会更合适：

```
function merge(/*args*/) {
  return _.extend.apply(null, construct({}, arguments));
}
```

比起使用第一个参数作为目标对象，我们把一个局部的空对象传给_.extend 并改变它的值。结果大不相同，但可能是你想要的：

```
var person = {fname: "Simon"};

merge(person, {lname: "Petrikov"}, {age: 28}, {age: 108})
//=> {age: 108, fname: "Simon", lname: "Petrikov"}

person;
//=> {fname: "Simon"};
```

现在 merge 函数可以与其他纯函数完全安全地组合了，它隐藏了可变性。从调用者的角度看，什么也没有被改变。

7.2.5 观察对象的不变性

对于 JavaScript 的内置类型和对象，你很难做到普遍的不变性，除非普遍使用冻结或严格使用规范。事实上，在自己使用 JavaScript 对象时，规范变得更加引人注目。为了说明问题，我将定义一个 Point 对象的片段，其定义如下：

```
function Point(x, y) {
  this._x = x;
  this._y = y;
}
```

我大概可以借助各种封闭封装技巧[①]以隐瞒 Point 实例没有公开访问的字段的事实。不过，我喜欢用一个更简单的方法来定义与标记“私有”字段（Bolin，2010）。

① 我用这个方法在第 8 章实现了 createPerson。

我很快就会展示，一个 API 是如何只提供操作接口而不暴露实现细节的。然而，就目前而言，我将实现两个“change”的方法：withX 和 withY，而且我会坚持不变性的政策[①]。

```
Point.prototype = {
  withX: function(val) {
    return new Point(val, this._y);
  },
  withY: function(val) {
    return new Point(this._x, val);
  }
};
```

对于 Point 的原型，我添加了两个方法作为“modifier”，这两种操作都不会造成任何的改变。无论是 withX 还是 withY 都返回 Point 新实例。下面是 withX 的实例：

```
var p = new Point(0, 1);

p.withX(1000);
//=> {_x: 1000, _y: 1}
```

调用 withX 返回 Point 对象带有_x 字段设置为 1000 的实例，但是什么被改变了呢？什么都没有：

```
p;
//=> {_x: 0, _y: 1}
```

原本的 p 实例是与最初创建时一样的[0,1]。事实上，设计不可变对象应该把自己的值在构造的时候就固定而之后再也不能改变。此外，不可变对象的所有操作应该返回新的实例。作为解决突变的问题的奖励，这样做还可以得到一个不错的链式 API：

```
(new Point(0, 1))
  .withX(100)
  .withY(-100);

//=> {_x: 100, _y: -100}
```

所以需要记住的点有。

- 不可变对象应该在构造时固定它们的值而之后再不能修改。
- 不可变对象操作并返回新对象[②]。

① 请注意，我省略了 constructor 属性，如 Point.prototype = {constructor: Point, ...}。虽然在这个例子中没有严格要求，但最好坚持在产品代码中保持这样的最佳实践。

② 有一些方法可以从一个实例中创建并共享元素到另一个，以避免复制较大的结构。然而，这种方法超出了本书的范围。

即使只看这两个规则，你可能也会发现问题。例如，当一个 Queue 类型实现时指定一个数值，并提供（局部的）队列的访问逻辑[①]：

```
function Queue(elems) {
  this._q = elems;
}

Queue.prototype = {
  enqueue: function(thing) {
    return new Queue(this._q + thing);
  }
};
```

如同 Point，Queue 对象构造时得到它的种子值。此外，Queue 提供了一个 enqueue 方法，用于添加作为种子的新元素到新的实例。Queue 的使用过程如下：

```
var seed = [1, 2, 3];

var q = new Queue(seed);

q;
//=> {_q: [1, 2, 3]}
```

在构造时，q 实例接收到三个元素的数组作为它的种子数据。调用 enqueue 方法会返回一个新实例：

```
var q2 = q.enqueue(108);
//=> {_q: [1, 2, 3, 108]}
```

事实上，q 的值似乎是正确的：

```
q;
//=> {_q: [1, 2, 3]}
```

但实际却不然：

```
seed.push(10000);

q;
//=> {_q: [1, 2, 3, 1000]}
```

好吧，修改原始的 seed 改变了 Queue 的实例。问题是，我在构造时直接使用引用而不是建立克隆。这一次，我将实现一个新的对象 SaferQueue，这将避免这一缺陷：

```
var SaferQueue = function(elems) {
  this._q = _.clone(elems);
}
```

deepClone 可能不是必要的，因为 Queue 实例的目的是为了元素的添加和删除，而

① 同样，我特意省略了 constructor，以避免弄乱例子。

不是一个数据结构。其实，最好还是能在元素级别保持不变性，如新的 enqueue 的做法：

```
SaferQueue.prototype = {
  enqueue: function(thing) {
    return new SaferQueue(cat(this._q, [thing]));
  }
};
```

使用安全不变的 cat 功能将消除 SaferQueue 实例之间共享引用的问题：

```
var seed = [1,2,3];
var q = new SaferQueue(seed);

var q2 = q.enqueue(36);
//=> {_q: [1, 2, 3, 36]}

seed.push(1000);

q;
//=> {_q: [1, 2, 3]}
```

我不敢说一切都是安全的。正如前面所提到的，每个 q 实例都有一个公共字段_q，我可以很容易地直接修改它们：

```
q._q.push(-1111);

q;
//=> {_q: [1, 2, 3, -1111]}
```

同样，我可以很容易地替换 SaferQueue.prototype 中的方法来做我想做的事情：

```
SaferQueue.prototype.enqueue = sqr;

q2.enqueue(42);
//=> 1764
```

JavaScript 只能提供这么多的安全了，因此，责任在于我们要坚持编程规范，以确保我们的编程实践是尽可能安全的[①]。

7.2.6 对象往往是一个低级别的操作

在继续讲如何控制突变之前，我还有最后一点需要强调：用不用 new 来创建对象都是允许的，但是会出现这种情况：

```
var q = SaferQueue([1,2,3]);

q.enqueue(32);
// TypeError: Cannot call method 'enqueue' of undefined
```

① 还有，由于 JavaScript 使用习惯和规范不一致，越来越多的 JavaScript.next 语言发展起来。

呀！我忘了 new 了。当然还有其他方法来避免这种问题，要么允许或不允许使用 new 构造的对象，我发现这些解决方案不是很有用。而我更喜欢使用构造函数，如下所示：

```
function queue() {
  return new SaferQueue(_.toArray(arguments));
}
```

因此，每当我需要一个队列，都可以使用构造函数构造：

```
var q = queue(1,2,3);
```

此外，我可以用 invoker 函数来创建一个函数代理给 enqueue：

```
var enqueue = invoker('enqueue', SaferQueue.prototype.enqueue);

enqueue(q, 42);
//=> {_q: [1, 2, 3, 42]}
```

使用函数而不是裸的方法调用给了我很大的灵活性，包括但不限于以下内容。

- 我不需要过分担心实际的类型。
- 我可以返回适合特定用例的类型。例如，小的数组在建模小 map 时相当快，但作为 map 增长，用一个对象可能更合适。这种切换可以根据程序中的使用出现。
- 如果类型或方法改变，那么我只需要更改函数，而不是每一个使用的地方。
- 我可以对函数添加前置和后置条件。
- 该函数可组合。

以这种方式使用的函数并不是告别面向对象编程（事实上，它们是互补的）。相反，它推动你进入实现细节领域。这使你和用户都工作在函数式的抽象，同时允许实施者集中于改变底层机制而不破坏现有代码。

7.3 控制变化的政策

让我们面对现实。虽然能消除代码中所有不必要的突变和副作用是极好的，但是也有些时候，你需要改变一些状态。我的目标是帮助你思考如何减少这种变化的足迹。例如，假设有这样一个程序，一个对象被改变，它所有引起的变化如图 7-3 所示。

图 7-3 看起来很眼熟，因为我在本章的前面讲到了它。当你将一个可变对象传来传去，并在某些函数中修改它时，你已经将这些修改提升到了对整个程序的影响。如果你添加一个接收特定值的函数，会发生什么？如果你把一个会造成微妙突变的函数删掉，会发生什么？如果你通过 JavaScript 的异步操作引入并发性会发生什么？所有这些因素都将颠覆你在以后做变更的能力。然而，如果改变只发生在一个单一的点，如图 7-4 所示，会是什么样子？

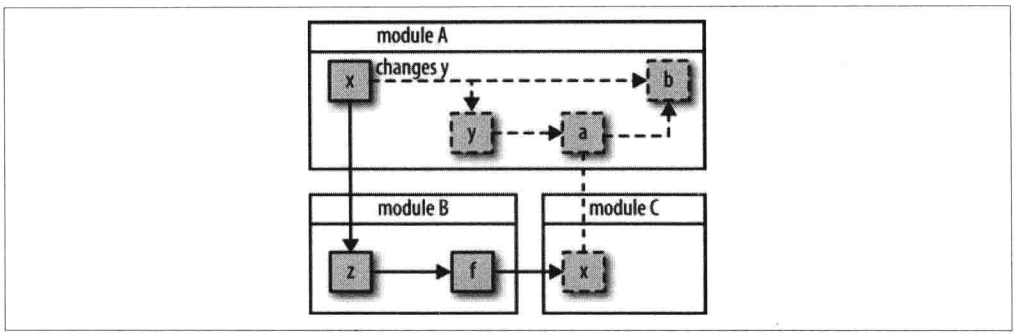


图 7-3 突变的网络，任何潜在的变化对全局的影响

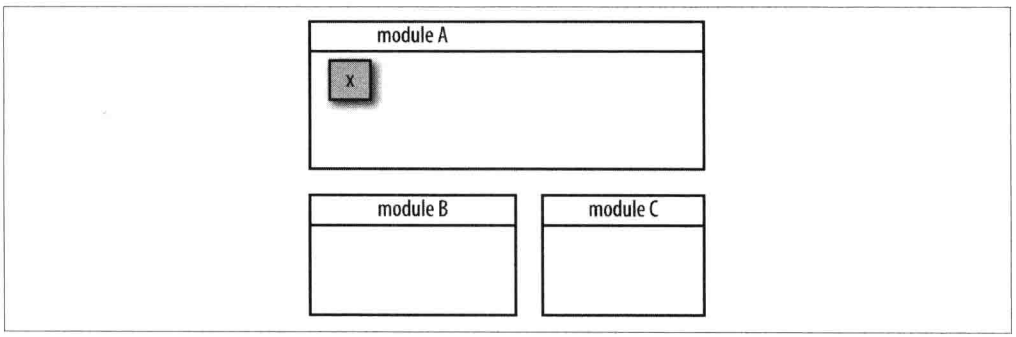


图 7-4 如果你绝对需要管理状态，那么理想的情况是将它隔离到一个地方

本节是关于隔离变化到单个点并实现需要保持状态的折中策略。控制变化的范围的方法是隔离可变的东西。也就是说，比起随便拿到一个对象并改变它，更好的策略是把对象放入容器中，并更改该容器，即：

```
var container = contain({name: "Lemonjon"});

container.set({name: "Lemongrab"});
```

对比：

```
var being = {name: "Lemonjon"};

being.name = "Lemongrab";
```

这个简单的间接层可以让你更容易找到其中一个给定值的变化，其他倒也没有什么优点了。不过，我可以采取这种思路并更进一步，限制变化为函数调用的结果：

```
var container = contain({name: "Lemonjon"});

container.update(merge, {name: "Lemongrab"});
```

这个思想背后的概念是双重的。首先，比起用虚构的 container#set 方法来替代直接变更值，改成函数结果的方式可以得到容器以及一些参数。其次，通过增加这一函数式的中间层，可以改变任何函数，即使是在那些特定域。与此相反，想想对于确认随处突变的值是有多么困难，特别是如果你的程序中有多处突变时。

我可以展示一个容器类型的简单实现：

```
function Container(init) {
  this._value = init;
};
```

使用 Container 方法如下：

```
var aNumber = new Container(42);

aNumber;
//=> {_value: 42}
```

然而，还有更多的需要实现，如 update 方法：

```
Container.prototype = {
  update: function(fun /*, args */) {
    var args = _.rest(arguments);
    var oldValue = this._value;

    this._value = fun.apply(this, construct(oldValue, args));

    return this._value;
  }
};
```

Container#update 方法很简单：接收一个函数和一些参数，然后设置基于旧值调用的函数结果为新值。下面来观察具体如何操作：

```
var aNumber = new Container(42);

aNumber.update(function(n) { return n + 1 });
//=> 43

aNumber;
//=> {_value: 43}
```

一个采用多个参数的例子：

```
aNumber.update(function(n, x, y, z) { return n / x / y / z }, 1, 2, 3);
//=> 7.166666666666667
```

一个使用限制函数的例子：

```
aNumber.update(_.compose(megaCheckedSqr, always(0)));
// Error: arg must not be zero
```

这仅仅是个开始。事实上，在第 9 章我将使用“基于协议扩展”的思想扩展 Container 的实现。然而，就目前而言，减少突变的种子已经播下。

7.4 总结

本章深入介绍了函数纯度，可以概括为一个不改变、返回或依赖任何超出本身控制范围之外的变量的函数。虽然我花了很多时间谈论不改变参数的函数，我还提到，如果你需要改变一个内部变量，只要没有人知道你已经改变了变量，就没有什么关系。

本章后面的部分谈到不变性的相关话题。不可变数据在 JavaScript 中是不现实的，因为变量可变是默认的。然而，通过观察程序中的变化模式，你可以得到尽可能接近的不可变性。同样，如果你的调用者不知道，是不会有什么影响的。察觉不变性和纯度，不仅在你的程序会很大的时候，而且在单元测试的级别也可以帮助你。如果你能清楚地推理和隔离函数，那么你就可以更容易地推出组合的函数。

在下一章中，我将介绍函数式“管道”的概念。这与函数组合_.compose 关系紧密，但是更深入到抽象以及安全性，还是值得单独拿出来作为一章。

第 8 章

基于流的编程

本章将继续讨论函数式风格，展示如何将函数结合纯度以及隔离突变，组合成相当流畅的编程风格。随后讨论如何将函数式块结合在一起的想法，并展示相关的例子。

8.1 链接

如果你还记得，在第 5 章的 condition1 中，我使用了下面的代码：

```
// ...
    var errors = mapcat(function(isValid) {
      return isValid(arg) ? [] : [isValid.message];
    }, validators);
// ...
```

这样做的原因是，最终的结果必须是一个错误字符串的数组，每个中间阶段返回子错误信息数组或是空数组。另一个原因是，我想结合不同的行为，返回不同的类型。如果返回值的格式刚好可作为另一个函数的参数，将更容易编写这些行为。例如下面这段代码：

```
function createPerson() {
  var firstName = "";
  var lastName = "";
  var age = 0;

  return {
    setFirstName: function(fn) {
      firstName = fn;
      return this;
    },
    setLastName: function(ln) {
      lastName = ln;
```

```
      return this;
    },
    setAge: function(a) {
      age = a;
      return this;
    },
    toString: function() {
      return [firstName, lastName, age].join(' ');
    }
  };
}

createPerson()
  .setFirstName("Mike")
  .setLastName("Fogus")
  .setAge(108)
  .toString();

//=> "Mike Fogus 108"
```

可以链接方法的“魔法”在于，每个链接的方法都返回同样的宿主对象引用（Stefanov，2010）。方法链返回共通的值的方式实际上是 JavaScript 中一个常见的设计模式，如 jQuery 和 Underscore。事实上，Underscore 有 3 个有用的函数：_.tap，_.chain 和_.value。在第 2 章中，我用这些函数实现了建立“99 瓶啤酒”歌词生成器的函数 lyricSegment。然而，在实现中我掩盖了这些函数式是如何工作的。

.chain 是这三个函数中最酷的，它允许你指定一个对象作为一个隐式的目标，可以重复使用 Underscore 的函数对其操作。从.chain 的简单例子开始介绍可能比较好理解：

```
_.chain(library)
 .pluck('title')
 .sort();

//=> _
```

什么[①]？

返回 Underscore 对象好像完全可以解释得通。_.chain 函数接收对象，并把它封装在一个包含所有的修改过的 Underscore 函数。也就是说，像_.pluck 这样的函数有着类似 function pluck(array, propertyName)的默认调用签名，而函数_.chain 使用的包装对象调用的是 function pluck(propertyName)。Underscore 使用了很多这种有趣的小伎俩，这样做的结果是，通过从上一个函数传入下一个的是包装对象而不是目标对象本身。因此，当想要结束_.chain 并提取最终值时，需要使用_.value 函数：

① 如果你正在使用 Underscore 的压缩（minified）版，可能会在这里看到一个不同的对象名。那是由压缩工具造成的。

```
_.chain(library)
 .pluck('title')
 .sort()
 .value();

//=> ["Joy of Clojure", "SICP", "SICP"]
```

使用_.value 可以将包装对象里的值取出来。这一概念还会在未来几节中出现。当使用_.chain 函数时，你可能会收到各种错误结果。想象一下以下情形：

```
var TITLE_KEY = 'titel';

// ... a whole bunch of code later

_.chain(library)
 .pluck(TITLE_KEY)
 .sort()
 .value();

//=> [undefined, undefined, undefined]
```

因为代码紧凑，问题很明显，我拼错了“title”。然而，在一个庞大的代码库中，你很可能需要调试并慢慢靠近故障点。不幸的是，当调用_.chain 时，貌似没有简单的方法可以接入（tap into）并检查中间值。然而事实并非如此。实际上，Underscore 提供了_.tap 函数，给定一个对象和一个函数，调用该函数仍然返回给定对象：

```
_.tap([1,2,3], note);
;; NOTE: 1,2,3
//=> [1, 2, 3]
```

传入 note 函数[①]到 Underscore 的 tap 函数表明，note 确实被调用了，而且能返回该数组。你可能怀疑，_.chain 包装的对象同样可以使用 _.tap，因此可以用来检查中间值，例如

```
_.chain(library)
 .tap(function(o) {console.log(o)})
 .pluck(TITLE_KEY)
 .sort()
 .value();

// [{title: "SICP" ...
//=> [undefined, undefined, undefined]
```

library 表的内容似乎没有什么不对劲，但如果我把 tap 放到别的位置会怎么样？

```
_.chain(library)
 .pluck(TITLE_KEY)
 .tap(note)
 .sort()
```

① note 是在第 1 章中定义的。

```
  .value();

// NOTE:  ,,
//=> [undefined, undefined, undefined]
```

现在，可以看出 pluck 的结果数组看起来很奇怪。此时，tap 已经发现了问题的所在：_.pluck 调用。是 TITLE_KEY 或者_.pluck 本身有问题。值得庆幸的是，问题处在我所控制的代码中。

_.chain 是非常强大的，尤其是当你想流利地描述对单一目标发生的一系列动作时。然而，_chain 也有一个局限，它不是惰性的。可以从下列代码中看出我的意思：

```
_.chain(library)
 .pluck('title')
 .tap(note)
 .sort();

// NOTE: SICP,SICP,Joy of Clojure
//=> _
```

虽然我在整个过程中从来没有显式地用_.value 函数进行求值，但函数链中的所有调用都会执行求值。如果_.chain 是惰性的，那么在调用_.value 之前什么都不会发生。

8.1.1 惰性链

出于第 6 章实现 trampoline 时的教训，我可以实现_.chain 的一个惰性变种，使其在调用_.value 之前不会运行任何目标函数：

```
function LazyChain(obj) {
  this._calls  = [];
  this._target = obj;
}
```

LazyChain 对象的构造函数很简单，它像_.chain 一样接收一个目标对象并建立一个空的调用数组。第 6 章的 trampoline 操作的是一个隐式调用链式，而 LazyChain 操作一个显式的数组。所以，问题仍然是，_calls 数组中是什么。最合乎逻辑的答案，当然是函数，如下所示：

```
LazyChain.prototype.invoke = function(methodName /*, args */) {
  var args = _.rest(arguments);

  this._calls.push(function(target) {
    var meth = target[methodName];

    return meth.apply(target, args);
  });

  return this;
};
```

LazyChain#invoke 方法相当简单，但我想还是有必要简单过一遍。LazyChain#invoke 的参数是一个字符串形式的方法名，以及一些额外的参数。LazyChain#invoke 是将实际方法调用“包装”在一个闭包内，并将其推入_calls 数组。注意看调用 LazyChain#invoke 后的_calls 数组：

```
new LazyChain([2,1,3]).invoke('sort')._calls;
//=> [function (target) { ... }]
```

在_calls 数组中的元素是对[2,1,3]数组 Array#sort 方法延时调用的引用。

封装了一些行为的函数通常被称为 thunk[①]，如图 8-1 所示。存储在_calls 中的 thunk 期待将作为接收最终方法调用的对象的中间目标。

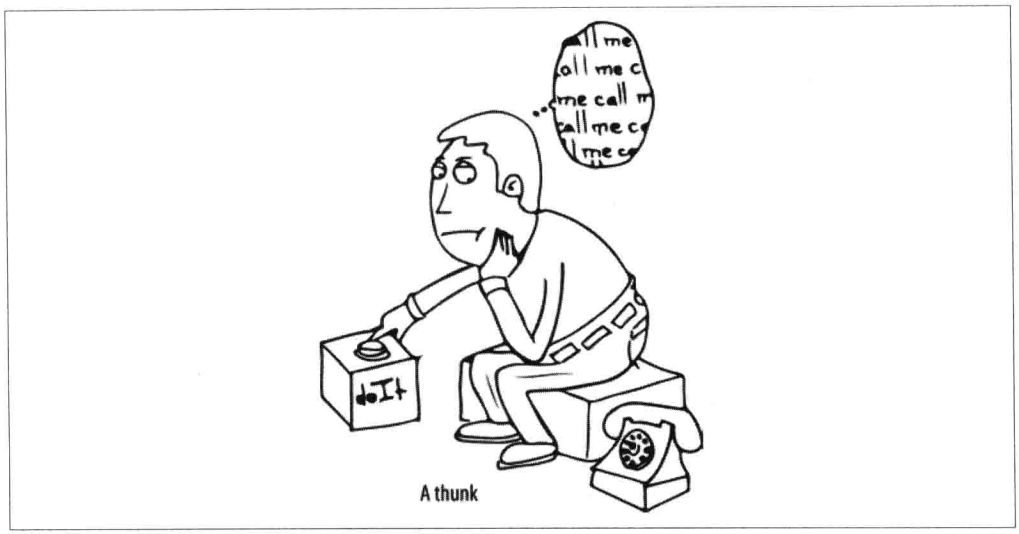


图 8-1　thunk 是等待被调用的函数

虽然并不是所有的编程语言都支持 thunks，但由于 JavaScript 的函数实现比较容易，所以支持 thunks 便是自然而然的事情。

由于 thunk 等待被调用，那么调用它会发生什么？

```
new LazyChain([2,1,3]).invoke('sort')._calls[0]();

// TypeError: Cannot read property 'sort' of undefined
```

结果并不令人满意。但问题是，直接调用 thunk 是不能使其正确执行的。如果你还记得，在 thunk 预期目标对象上执行它闭合（closed-over）的方法。因此要使它工

① “thunk”与 ALGOL 有很深的渊源。

作，我需要以某种方式将原始数组作为参数传递给 thunk，如图 8-2 所示。

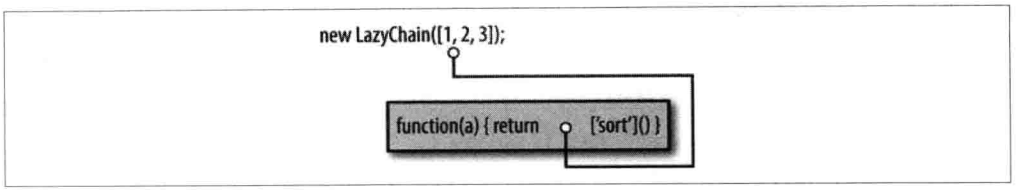


图 8-2　为了使 LazyChain 正常工作，我们需要找到再次调用原始对象的方式

我可以通过复制并粘贴数组到 thunk 调用：

```
new LazyChain([2,1,3]).invoke('sort')._calls[0]([2,1,3]);

//=> [1, 2, 3]
```

直接将目标对象作参数传入 thunk 调用似乎是在作弊，但更像一个难看的 API。相反，我可以用_.reduce 函数，不仅可以重复调用初始 thunk 的参数，还可以调用任何_calls 数组中的中间调用：

```
LazyChain.prototype.force = function() {
  return _.reduce(this._calls, function(target, thunk) {
    return thunk(target);
  }, this._target);
};
```

函数 LazyChain#force 是惰性链接逻辑的引擎。如图 8-3 所示，_.reduce 提供了类似第 6 章的蹦床逻辑。从最初的目标对象入手，一个接一个调用 thunk。

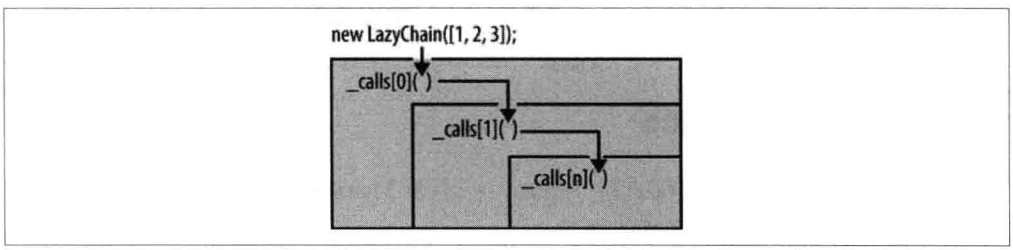


图 8-3　使用 reduce 可以把中间结果传到各个 thunk

既然有了 LazyChain#force 方法，来看看“终止”惰性链时会发生什么：

```
new LazyChain([2,1,3]).invoke('sort').force();

//=> [1, 2, 3]
```

太棒了！逻辑似乎是合理的，但若加入更多的 thunk 会发生什么？注意：

```
new LazyChain([2,1,3])
  .invoke('concat', [8,5,7,6])
```

```
    .invoke('sort')
    .invoke('join', ' ')
    .force();

//=> "1 2 3 5 6 7 8"
```

只要注意传递的类型，可以一直这样链下去。我提到过 LazyChain 的执行是懒惰的。因为 thunks 存储在_calls 数组内并未曾执行，直到执行 LazyChain#force 时，为了更好地说明它的惰性，首先，我实现了一个惰性版本的_.tap 与 LazyChain 的例子：

```
LazyChain.prototype.tap = function(fun) {
  this._calls.push(function(target) {
    fun(target);
    return target;
  });

  return this;
}
```

LazyChain#tap 与 LazyChain#invoke 类似，因为实际的工作（调用一个函数，并返回目标）是包裹在一个 thunk 里的。我将展示 tap 是如何工作的：

```
new LazyChain([2,1,3])
  .invoke('sort')
  .tap(alert)
  .force();

// alert box pops up
//=> "1,2,3"
```

但是，如果不调用 LazyChain#force 会发生什么？

```
var deferredSort = new LazyChain([2,1,3])
  .invoke('sort')
  .tap(alert);

deferredSort;
//=> LazyChain
```

什么也不会发生！deferredSort 一直不会被调用，直到我显式地调用它：

```
// ... in the not too distant future

deferredSort.force();

// alert box pops up
//=> [1, 2, 3]
```

这与 jQuery 的 promises 很类似。在讨论 promises 之前，我想再简单地扩展一下 LazyChain，让它能支持链接其他的惰性链。请记住，LazyChain 其实是一个 thunk 数组，我们只需要改变其构造函数使其可以接收 LazyChain 作为参数：

```
function LazyChainChainChain(obj) {
  var isLC = (obj instanceof LazyChain);

  this._calls  = isLC ? cat(obj._calls, []) : [];
  this._target = isLC ? obj._target : obj;
}
```

也就是说，如果该参数的构造函数是另一个 LazyChain 实例，那么就抽取它的调用链和目标对象：

```
new LazyChainChainChain(deferredSort)
  .invoke('toString')
  .force();

// an alert box pops up
//=> "1,2,3"
```

这种可以组合链接的概念非常强大。可以建立一个离散行为库，而不用担心最终结果。还有很多其他方法可以加强 LazyChain，比如缓存结果，提供不依赖于字符串的接口，这些给读者留作练习。

8.1.2 Promises

用 LazyChain 和 LazyChainChainChain 包装计算的描述供以后执行非常有用，jQuery[①]也提供了类似功能——Promises，但略有区别。也就是说，jQuery 的 promises 是为了给与主程序并发执行的异步操作提供一个流畅的 API。

首先，可以简单地把 promise 理解为一个未完成的活动。如下面的代码，jQuery 可以通过$.Deferred 创建 promises：

```
var longing = $.Deferred();
```

我可以取到 Deferred 的 promise：

```
longing.promise();
//=> Object
```

返回的对象是未完成动作的句柄：

```
longing.promise().state();
//=> "pending"
```

正如结果显示，promise 还是等待模式。原因当然是这个 promise 还未满足。只需要 resolve 就可以满足该 promise：

```
longing.resolve("<3");

longing.promise().state();
//=> "resolved"
```

① 还有很多 JavaScript 库提供类似 jQuery 的 promises 库，如：Q，RSVP.js，when.js 和 node-promises。

此时，promise 的状态显示为已满足，也可访问其值：

```
longing.promise().done(note);
// NOTE: <3
//=> <the promise itself>
```

Deferred#done 方法仅仅是 promise API 提供的许多有用的链接方法之一。我不打算深入介绍 jQuery 的 promise，而是用一个更复杂的例子来帮助理解 promise 与惰性链的区别。jQuery 中的构建 promise 的一种方式是使用$.when 函数开始一个 promise 链，如下所示：

```
function go() {
  var d = $.Deferred();

  $.when("")
   .then(function() {
     setTimeout(function() {
       console.log("sub-task 1");
     }, 5000)
   })
   .then(function() {
     setTimeout(function() {
       console.log("sub-task 2");
     }, 10000)
   })
   .then(function() {
     setTimeout(function() {
       d.resolve("done done done done");
     }, 15000)
   })

  return d.promise();
}
```

go 函数中的 promise 链非常简单。我需要做的只是让 jQuery 开始三个异步任务，其中每个任务需要的时间都比前一个长。Deferred#then 方法接收一个函数并立即执行该函数。只有在需要最长时间的任务中解决 Deferred。运行 go 可以揭开谜底：

```
var yearning = go().done(note);
```

done 中的方法会等待 go 返回的 promise 被满足时才促发。但是，运行 go 后什么也没有发生。这是因为子任务需要等待超时，控制台日志尚未记录。我可以使用 state 方法检查 promise 的状态：

```
yearning.state();
//=> "pending"
```

正如你所期望的，状态依然未解决。几秒钟后：

```
// (console) sub-task 1
```

第一子任务的 timeout 被触发并打印到控制台。

```
yearning.state();
//=> "pending"
```

当然，因为当初的 promise 链中的其他两个动作还在等待超时，状态仍是待定。再等待几秒钟，控制台会显示如下信息：

```
// (console) sub-task 2

// ... ~5 seconds later

// NOTE: done done done done
```

最终，延迟链中的最后一个环节被调用，并且由 note 函数打印出来。再次检查状态：

```
yearning.state();
//=> "resolved"
```

当然，promise 已经解决了，因为最后的子任务运行，调用了 Deferred 实例的 resolve 方法。这一系列事件与之前的 LazyChain 截然不同。也就是说，一个 LazyChain 表示计算值的固定的顺序的调用。Promises 虽然也表示调用序列，但一旦被执行，则随时可以得到值。

此外，jQuery 的 promise API 是为了定义由多个异步子任务组合成的聚合任务。子任务可以尽可能同时进行。但是，总的任务不被视为完成，需要等待所有子任务完成并且通过 resolve 方法传入结果值。

惰性链也代表子任务组成的聚合任务，但它们总是一个接一个运行。两者之间的区别可以概括为高度聚合关联的任务（LazyChain）与低耦合（Deferred）的任务。

大多数 jQuery 的异步 API 调用都返回 promise，因此异步调用的结果是可以链接的。然而，这种 API 的完整规范则是本书的范围之外。

8.2 管道

链接模式有利于给对象的方法调用创建流畅的 API，但是对于函数式 API 则未必。Underscore 提供的_.chain 函数可实现链接，跟大多数函数一样，需要一个集合作为第一个参数。与此相反，本书中的函数将函数作为其第一个参数。这样做的目的非常明确，就是为了促进局部应用和柯里化。

方法链接有各种各样的缺点，包括紧耦合对象的 set 和 get 逻辑（Fowler 称它们为

命令/查询分离[2010]）和尴尬的命名问题。但主要的问题是，函数链经常会在调用之间改变传递的共同引用，如图 8-4 所示。函数式 API 重点在操作值而不是引用，而且还能微妙地（有时不那么微妙）转换数据，返回新的结果。

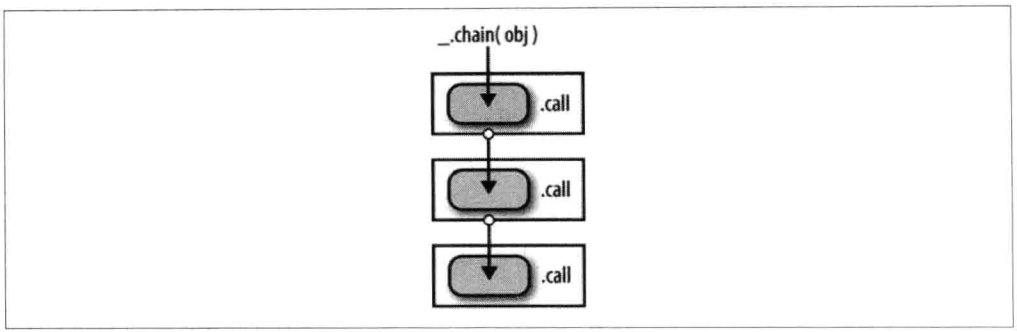


图 8-4　链式方法调用改变共同引用

在本节中，我将讨论函数管道，以及如何最大化利用它。在一个理想的世界中，提供给函数的原始数据应该在调用后保持不变。函数式代码中的调用链应该接受期望的数据，对其进行非破坏性的修改，然后返回新的数据，如图 8-5 所示。

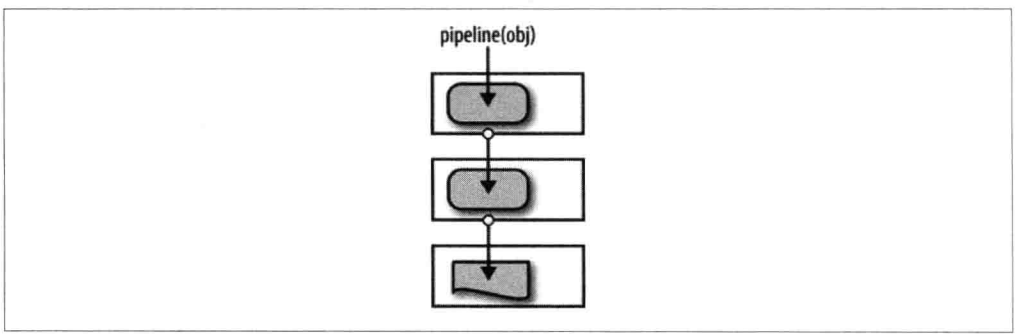


图 8-5　用流水线函数转换数据

一个变换管道的“伪”API 大概是这样的：

```
pipeline([2, 3, null, 1, 42, false]
  , _.compact
  , _.initial
  , _.rest
  , rev);

//=> [1, 3]
```

这条管道的调用顺序可以描述为。

1．把数组[2, 3, null, 1, 42, false]传入_.compact 函数。

2．把_.compact 返回的结果传给_.initial。

3．把_.initial 返回的结果传入_.rest。

4．最后把_.rest 返回的结果传入 rev。

换句话说，如果用嵌套调用写出来的话，管道会是这样的：

```
rev(_.rest(_.initial(_.compact([2, 3, null, 1, 42, false]))));

//=> [1, 3]
```

看到这个描述，你心里应该开始响起警钟。因为这基本与 LazyChain#force 是相同的。两种算法都使用相同的结果/调用编织。因此，pipeline 的实现也应该与 LazyChain#force 很相似：

```
function pipeline(seed /*, args */) {
  return _.reduce(_.rest(arguments),
                  function(l,r) { return r(l); },
                  seed);
};
```

在 pipeline 中使用_.reduce 几乎微不足道，然而，一个看似少量的代码却别有内涵。在继续深入之前，先来看看几个 pipeline 实战的例子：

```
pipeline();
//=> undefined

pipeline(42);
//=> 42

pipeline(42, function(n) { return -n });
//=> -42
```

第一个传入 pipeline 的参数为种子值，或者称为启动函数的原始值。以后每次函数调用的结果都会被传入下一个函数，直到所有函数被执行[①]。

这有点类似于惰性链，只是它不是惰性的，而且重点在于值而不是可变引用[②]。相反，管道更类似于使用_.compose 创建的函数。想要惰性管道，只需要将其封装在函数内（或者 thunk）：

```
function fifth(a) {
  return pipeline(a
    , _.rest
    , _.rest
    , _.rest
```

① 如果你想更花哨一点，可以把 pipeline 叫作 thrush 连接符。

② 基于这些巨大的差异，你可以说它们一点也不像。

```
    , _.rest
    , _.first);
}
```

想要管道工作，只需要传入数据：

```
fifth([1,2,3,4,5]);
//=> 5
```

通过管道构建抽象并将其插入另一个管道是一个非常强大的技术。因此，它们可以组合成：

```
function negativeFifth(a) {
  return pipeline(a
    , fifth
    , function(n) { return -n });
}

negativeFifth([1,2,3,4,5,6,7,8,9]);
//=> -5
```

这个例子看上去很有意思，但如果能创建流畅的 API 则会更吸引眼球。回想第 2 章中的关系代数运算符 as，project 和 restrict 的实现。每个函数的第一个参数用来生成一个新的表，以某种方式被“修改”。这些函数似乎非常适合于管道，例如查询表中版本是初版的书：

```
function firstEditions(table) {
  return pipeline(table
    , function(t) { return as(t, {ed: 'edition'}) }
    , function(t) { return project(t, ['title', 'edition', 'isbn']) }
    , function(t) { return restrict(t, function(book) {
        return book.edition === 1;
      });
    });
}
```

然后使用 firstEditions：

```
firstEditions(library);

//=> [{title: "SICP", isbn: "0262010771", edition: 1},
//    {title: "Joy of Clojure", isbn: "1935182641", edition: 1}]
```

对于处理或提取表中元素，关系运算符效果很好，有了管道能让它更好地处理。

问题是，管道内的函数只接受一个参数。由于关系运算符预期两个参数，需要一个适配器函数来包装它们，才能在管道内正常工作。然而，关系运算符的设计上要求符合一致的接口：该表是第一个参数，“变”的规范是第二个。以这种一致性的优势，我可以用 curry2 建立更流畅的柯里化版的关系运算符：

```
var RQL = {
  select: curry2(project),
  as: curry2(as),
  where: curry2(restrict)
};
```

我决定将柯里化函数放到 RQL（关系查询语言）对象的命名空间里，并在不同情况下用不同名字，以模仿 SQL 运算符。现在它们是柯里化的版本，而新的 firstEditions 更可读：

```
function allFirstEditions(table) {
  return pipeline(table
    , RQL.as({ed: 'edition'})
    , RQL.select(['title', 'edition', 'isbn'])
    , RQL.where(function(book) {
      return book.edition === 1;
    }));
}
```

新的 allFirstEditions 函数不仅更容易阅读[①]，而且能一样正常工作：

```
allFirstEditions(table);

//=> [{title: "SICP", isbn: "0262010771", edition: 1},
//    {title: "Joy of Clojure", isbn: "1935182641", edition: 1}]
```

在 JavaScript 中使用管道，再加上柯里化与部分应用，提供了强有力的方式来组合流畅的函数。事实上，本书中创建的函数都适合在管道中工作。作为一个额外的好处，函数式编程的重点是数据的转化，但当数据从一个函数流到了下一个，经常会被间接和深嵌套函数阻碍。用管道可以使得数据流更加明确。但是，管道并不适合于所有情况。事实上，我很少会使用管道来执行有副作用的 I/O 操作、Ajax 调用或突变，因为它们往往不返回值。

传入管道的数据自始至终都应该是相同的。这样做有助于确保该管道是可组合的。是不是有方法可以让我编写管道状结构的纯函数？在下一节中，我将基于之前探索链接与管道时的教训，讨论如何以流畅的方式组合具有副作用的操作。

8.3 数据流与控制流

在 lazyChain 的例子中，我从执行逻辑（.force）分离出来执行规范（.invoke）。同样，用 pipeline 函数，我可以并列多个纯函数来实现串行处理管道。以 lazyChain 和 pipeline 为例，从调用序列中的一个节点移动到下一个时值是稳定的。具体来说，直到 force 被调用之前，lazyChain 总是返回一些 LazyChain 对象。同样，虽

① 至少我认为代码对读者应该很轻松。

然在任何时候 pipeline 的中间类型可以改变，但这种变化的优先级比组合更高，以保证阶段之间的传值正确。但是，如果组合了不应该被组合的函数会发生什么？

在这一章的最后一节中，我将讨论一种新的使用惰性管道 actions（Stan，2011）组合所谓不协调返回类型函数的新技术。

想象函数是接收某些“形状”的输入数据而输出另一形状（也可能相同）的数据的盒子的话，如图 8-6 所示[①]。

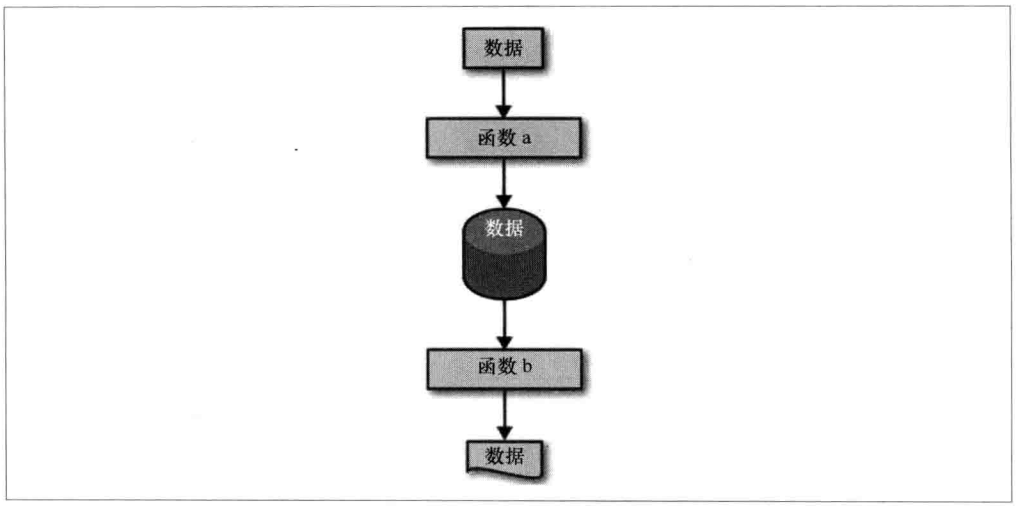


图 8-6　函数 a 接收一个长方形的物体，并返回一个数据库形状的物体；函数 b 需要一个数据库状物体，并返回一个文件形状的物体

因此，惰性链能正常工作的原因是，链接里的方法调用之间的形状都是一致的，只有当 force 被调用时才起变化[②]。图 8-7 说明了这一事实。

类似地，管道节点之间或组合函数之间的图形，并不像一般对象那样稳定，需要根据下一节点的需求发生变化，如图 8-8 所示。

问题在于，如果形状不匹配，那么 pipeline，_.compose 和 lazyChain 将不会像预期一样正常工作：

① 我只想说明，字符串数组与浮点数有不同的形状。你可以用“类型”或“结构”来替换形状，但我会坚持用形状，因为图片看起来更好。这个可视化图形的灵感来自于 Alan Dipert（Dipert，2012）。

② 虽然 force 的结果可能也是一个惰性链。

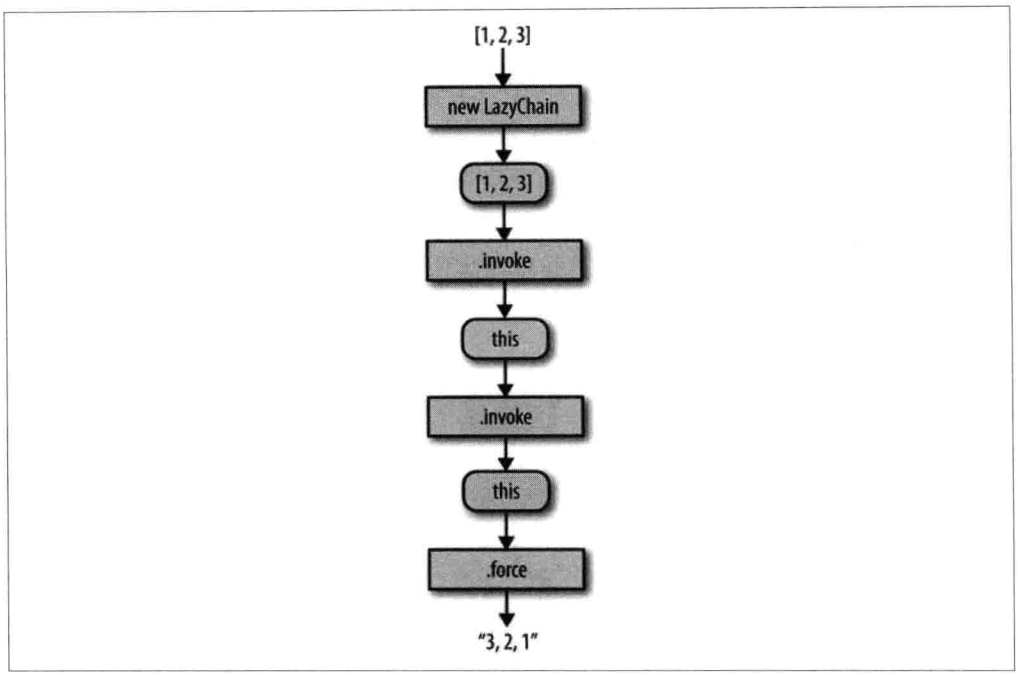


图 8-7　在一个惰性的调用链之间流动的图形是稳定的，只有调用 force 会发生（潜在的）变化

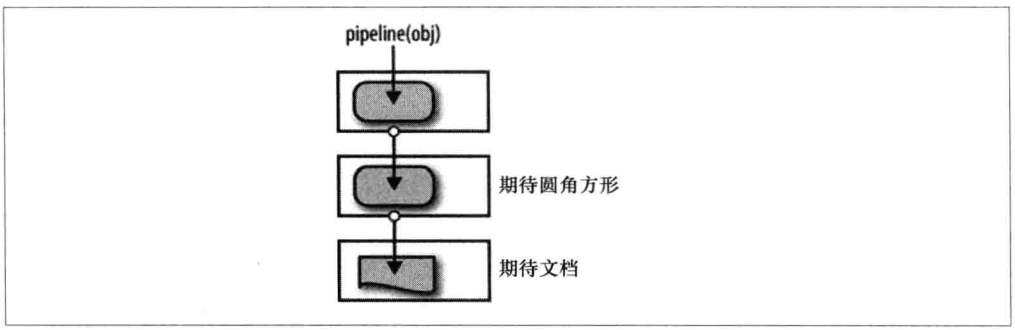


图 8-8　在管道调用或组合之间的图形需要根据预期的方式改变

```
pipeline(42
  , sqr
  , note
  , function(n) { return -n });

// NOTE: 1764
//=> NaN
```

导致失败的原因是中途的形状（从 note）变成了 undefined。

事实上，如果你想达到满意的效果，那么需要手动执行此操作：

```
function negativeSqr(n) {
  var s = sqr(n);
  note(n);
  return -s;
}

negativeSqr(42);
// NOTE: 1764
//=> -1764
```

有了样板可以满足快速增涨的要求。同样，可以只改变 note 函数，使其返回任何参数。这可能是一个好主意，但这里这样做只解决了一种症状，而不能根治不相容的中间形状的问题。有的函数返回不兼容的形状，甚至没有返回，则要求控制流能微妙地编排组合代码。取得这种微妙的平衡的关键在于寻找一种方式来组合函数，能让值从一个函数传到下一个。

现在你可能以为要解决这个问题的办法就是找到稳定的节点之间的形状——确实是这样的。

8.3.1 找个一般的形状

确定一般形状难在放置什么进去，而不是类型选择（普通对象即可）。一种可行的方法是选定一种数据能在流之间传递，例如 negativeSqr：

```
{values: [42, 1764, undefined, -1764]}
```

还需要什么吗？能够保存数据的状态，或者目标对象会有些用处。图 8-9 可视化了不同的输入和输出形状时的组合动作。

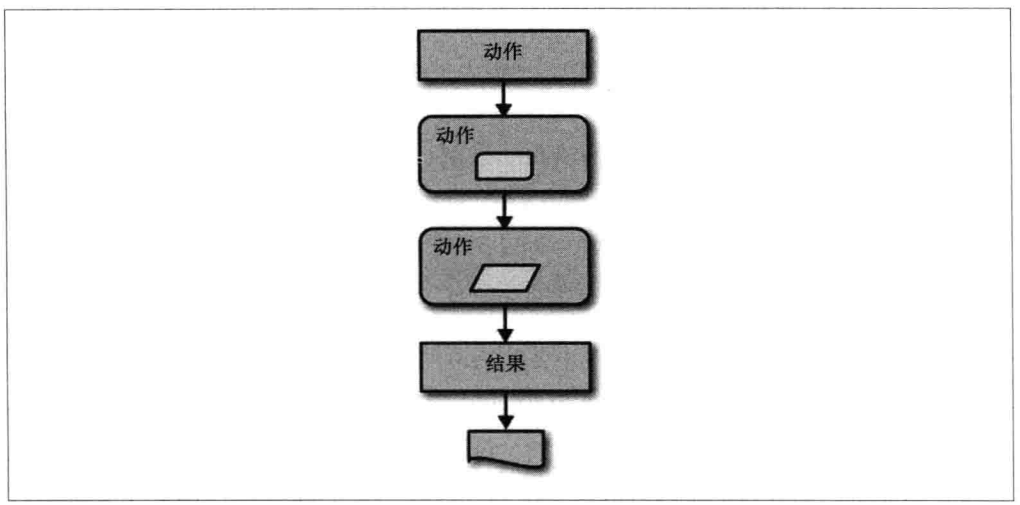


图 8-9　动作之间流动的形状被制成稳定使用的上下文对象

最后一个节点（例如结果）类似于 force 操作，会把答案提取出来。例如 negativeSqr 函数，获取最终结果的方式是取 values 的最后一个元素：

```
{values: [42, 1764, undefined, -1764],
 state:  -1764}
```

现在，actions 函数的实现是用 pipeline 和 lazyChain 的组合来管理这些中间状态，如下所示：

```
function actions(acts, done) {
  return function (seed) {
    var init = { values: [], state: seed };

    var intermediate = _.reduce(acts, function (stateObj, action) {
      var result = action(stateObj.state);
      var values = cat(stateObj.values, [result.answer]);

      return { values: values, state: result.state };
    }, init);

    var keep = _.filter(intermediate.values, existy);

    return done(keep, intermediate.state);
  };
};
```

actions 函数需要一个函数数组，其中每个函数接收一个值并返回中间状态对象的函数。actions 函数进而规约所有函数到数组中，并建立一个中间状态的对象：

```
...
    var intermediate = _.reduce(acts, function (stateObj, action) {
      var result = action(stateObj.state);
      var values = cat(stateObj.values, [result.answer]);

      return { values: values, state: result.state };
    }, init);
...
```

在此过程中，actions 期望每个函数得到的结果是包含两个键（answer 和 state）的对象。answer 的值对应于调用函数的结果，state 值代表执行之后的新状态。对于函数 note，其状态不会改变。intermediate 状态对象可能有一些伪答案（如 answer 的 note 是 undefined），可以用 actions 将它筛选出来：

```
...
    var keep = _.filter(intermediate.values, existy);

    return done(keep, intermediate.state);
...
```

最后，actions 将过滤后的 values（keep）以及 state 传入 done 函数，以取得最后的结果。我完全可以只传 state 或 values 至 done 函数，但我想通过传这两个参数以最

大化其灵活性，而且这样也有助于说明问题。

为了演示 actions 的工作原理，我需要拆解 negativeSqr，并重新组合这一系列的动作。首先，sqr 函数显然不知道状态对象，所以我需要创建一个适配器的函数 mSqr[①]：

```
function mSqr() {
  return function(state) {
    var ans = sqr(state);
    return {answer: ans, state: ans};
  }
}
```

现在可以使用 actions 进行双平方操作：

```
var doubleSquareAction = actions(
  [mSqr(),
   mSqr()],
  function(values) {
    return values;
});

doubleSquareAction(10);
//=> [100, 10000]
```

因为直接返回 values 数组，doubleSquareAction 的结果都是中间状态（10 的平方以及 10 的平方的平方）。这几乎与 pipeline 一模一样。真正的魔力在于混合了不同形状的函数：

```
function mNote() {
  return function(state) {
    note(state);
    return {answer: undefined, state: state};
  }
}
```

mNote 的 answer 当然是 undefined，因为它是用于打印的函数；然而，state 可以继续传递下去。mNeg 函数现在似乎就很清楚了：

```
function mNeg() {
  return function(state) {
    return {answer: -state, state: -state};
  }
}
```

现在可以组合这些新函数到 actions 了：

① action 其实可以称为 Monad，但我却选择前者，因为我认为 Monad 在缺乏一个强类型以及返回型多态性的系统中会被大大削弱。然而，这并不是说，Monad 不能给我们在 JavaScript 中使用解构的宝贵经验。

```
var negativeSqrAction = actions([mSqr(), mNote(), mNeg()],
  function(_, state) {
    return state;
  });
```

用法如下：

```
negativeSqrAction(9);
// NOTE: 81
//=> -81
```

使用 actions 的组合范式是组成不同形状的函数的一般方法。可悲的是，之前的代码好像用了很多繁琐的过程来达到所需要的效果。幸运的是，有一个更好的方式来定义动作，无须知道状态对象是如何创建的细节，并避免随之而来的样板。

8.3.2 函数可以简化创建 action

在本节中，我将定义一个函数 lift，它接收两个函数：一个提供给出结果值，一个提供新状态的函数。lift 函数将用于抽象 actions 中间的状态管理。lift 的实现很简单：

```
function lift(answerFun, stateFun) {
  return function(/* args */) {
    var args = _.toArray(arguments);

    return function(state) {
      var ans = answerFun.apply(null, construct(state, args));
      var s = stateFun ? stateFun(state) : ans;

      return {answer: ans, state: s};
    };
  };
};
```

lift 看起来像柯里化（如它返回一个函数），事实就是这样的。除非能提供一个更好的接口，否则没有理由柯里化 lift，我将会举例说明。事实上，使用 lift，我可以更好地重新定义 mSqr，mNote 和 mNeg：

```
var mSqr2  = lift(sqr);
var mNote2 = lift(note, _.identity);
var mNeg2  = lift(function(n) { return -n });
```

sqr 和负数函数的 answer 和 state 是相同的值，所以我只需要提供 answer 函数。而 note 得到的答案（undefined）显然不是状态值，所以使用_.identity 可以指定其为传递动作。

用 actions 组合的新 actions：

```
var negativeSqrAction2 = actions([mSqr2(), mNote2(), mNeg2()],
  function(_, state) {
    return state;
  });
```

用法和以前一样：

```
negativeSqrAction(100);
// NOTE: 10000
//=> -10000
```

如果想使用 lift 和 actions 来实现 stackAction，可以：

```
var push = lift(function(stack, e) { return construct(e, stack) });
```

push 函数返回一个新数组，伪装成一个栈，新元素排在前面。由于中间状态也是答案，就没有必要提供一个状态函数。pop 的实现需要两个函数：

```
var pop = lift(_.first, _.rest);
```

栈是由数组模拟的，pop 的结果是第一个元素。相反，状态函数_.rest 返回新的已删除栈顶元素的栈。我现在可以使用这两个函数来编写两次入栈和一次出栈操作，如下所示：

```
var stackAction = actions([
  push(1),
  push(2),
  pop()
  ],
  function(values, state) {
    return values;
  });
```

令人惊讶的是，通过使用 actions 函数，我抓到事件栈顺序过程中的值。

```
stackAction([]);

//=> [[1], [2, 1], 2]
```

如上所示，stackAction 仅仅是一个函数，现在可以与其他函数组合成高阶行为。既然已经决定返回所有的中间结果，由此产生的返回值也在其中：

```
pipeline(
  []
  , stackAction
  , _.chain)
.each(function(elem) {
  console.log(polyToString(elem))
});

// (console) [[1],      // the stack after push(1)
// (console)  [2, 1],   // the stack after push(2)
// (console)  2]        // the result of pop([2, 1])
```

这几乎像魔术一样，但通过解构它，可以证明它确实没有神奇可言。相反，使用一般的中间型和以及 lift 和 actions 函数的管理可以组合不同形状的函数。这种管理可

以将需要保持控制流类型的问题，转化为数据流的问题（Piponi，2010）。

8.4 总结

本章着重探讨将行为看作离散步骤序列的可能性。在本章的第一部分中，我们讨论了链接。方法链在 JavaScript 库如流行的 jQuery 中广泛使用。总之，方法链是让对象的方法返回一个一般的 this 引用，以便一般方法可以在序列中调用。我还通过使用 jQuery 的 promises 和 Underscore 的_.chain 函数进一步介绍链接，接着探索了“惰性链”的点子，将一些方法串到目标后面待以后执行。

对于链的另一个想法是“管道”，或可以说是接收一个数据块，返回转换后的数据块的函数序列。管道不像链接，它操作数组或对象而不是引用。另外，流过管道的数据类型可以改变，只要是在管道中的下一个步骤预期的类型。管道不会对流过的数据造成损伤。

虽然链和管道分别操作于引用和数据类型，但动作序列的想法并不局限于此。actions 类型的实现隐藏了管理用于混合不同返回和参数类型的函数使用的数据的结构细节。

在接下来的最后一章，将讨论如何用函数式编程进行“无类”风格的编程。

第 9 章

无类编程

许多人第一次接触到 JavaScript 及其工具（函数、对象、原型和数组）时都印象深刻。因此，为了“修改”JavaScript 以符合软件建模解决方案，他们往往寻求或重新创建基于类的系统。这种愿望是完全可以理解的，一般人们都会寻求熟悉的方案。不过，既然你已经在 JavaScript 中的函数式编程的探索中走到这一步，就值得将前面章节中的所有思路连贯起来，探索如何具体化函数式和面向对象思想。

本章将首先回顾对数据和函数的思考。然而，虽然函数式的思考很重要，但也可能仍然需要建立自定义的抽象。因此，我将介绍一种方法来“混合”离散行为，组合成更复杂的行为。我还将讨论如何用函数式的 API 隐藏这些自定义设置。

9.1 数据导向

在这本书中，我故意根据 JavaScript 的基本类型、数组和对象定义数据来建模。也就是说，为了组合简单数据，以形成更高层次的概念，如表（第 8 章）和命令（第 4 章），我故意避免创建层级结构的类型。坚持把重点放在函数而不是方法上，让我能提供不依赖于对象思考与方法论的 API。相反，通过秉承的函数式接口，真正实现数据抽象的具体类型变得不那么重要。这带来了改变数据的实现细节的灵活性，同时还能保持一致的函数式接口。

图 9-1 说明了使用函数式 API 时，并不需要担心调用链中的节点之间流动的类型。

当然，函数本身应当能够处理流之间的类型，但精心设计的 API 是为了组合并抽象中间类型的细节。然而，有些时候以对象为中心的思想是至关重要的。例如，第 8 章中实现的 LazyChain 专门处理目标对象上的方法的惰性执行。显然，这个问题的

答案便是供对象在何处调用方法的解决方案。然而，实现要求 LazyChain 的用户直接创建该类型的实例。由于 JavaScript 极大的灵活性，没有必要专门建立 LazyChain 类型。惰性链是从函数 lazyChain 返回的能响应.invoke 和.force 调用的对象。

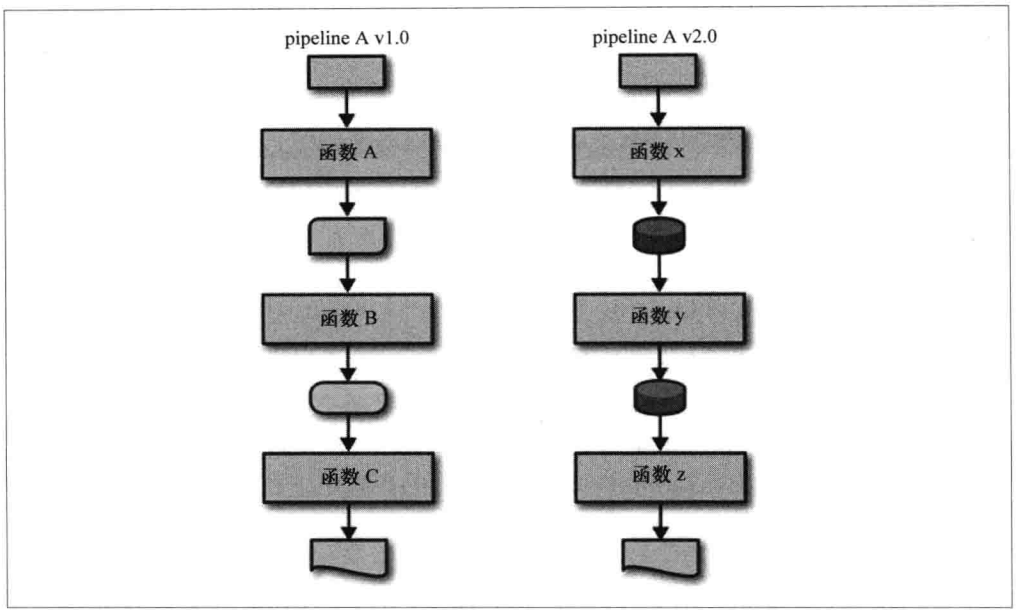


图 9-1 当坚持一个函数式接口时，中间数据的类型就不那么重要了，而且可以根据需要进化（或退化），特别是如果关心的主要是计算的开始和结束

```
function lazyChain(obj) {
  var calls = [];

  return {
    invoke: function(methodName /* args */) {
      var args = _.rest(arguments);

      calls.push(function(target) {
        var meth = target[methodName];

        return meth.apply(target, args);
      });

      return this;
    },
    force:  function() {
      return _.reduce(calls, function(ret, thunk) {
        return thunk(ret);
      }, obj);
    }
  };
}
```

这几乎是 LazyChain 实现的所有代码，除了以下几种情况。

- 惰性链是通过函数调用启动的。
- （calls 内的）调用链是私有数据[①]。
- 没有明确的 LazyChain 类型。

lazyChain 的实现如下所示：

```
var lazyOp = lazyChain([2,1,3])
  .invoke('concat', [7,7,8,9,0])
  .invoke('sort');

lazyOp.force();
//=> [0, 1, 2, 3, 7, 7, 8, 9]
```

当然，也可以建立明确的数据类型。我将在下一节中展示，而且会等到必要时再定义它们。相反，我们优先选择抽象。因为与惰性链交互比指定 LazyChain 类型更重要。

JavaScript 提供了大量有效的方法来延缓或消除创建具名类型和类型层级结构的必要，包括如下几种。

- 可用的原始数据类型。
- 可用的聚合数据类型（例如数组和对象）。
- 操作于内置数据类型的函数。
- 匿名对象包含方法。
- 类型对象。
- 类。

上述几点可以作为一个实现 JavaScript API 的清单，如图 9-2 所示。

JavaScript 开发人员经常反转图 9-2 所示的层次结构，直接去构造类，这样做使得他们一开始就可以和抽象说再见了。如果你转而选择从内置类型开始，再加上流畅的函数式的 API，这样可以让自己有很大的灵活扩展空间。

① 私有化的 chain 数组导致链接多个惰性链稍微更复杂。然而，要处理这种情况，需要让 force 识别并传递结果给下一惰性链。

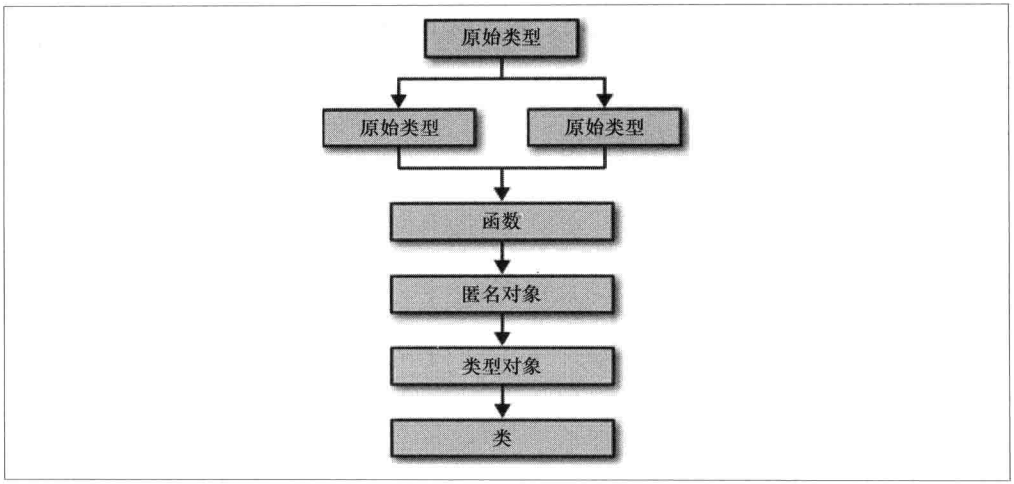


图 9-2　数据思维的“层级”

通过函数来构建

对于大多数编程任务，发生在一些计算中间的活动是最重要的（Elliott，2010）。例如，读取表单的值，并验证它，然后对新类型进行操作，最终发送新值作为字符串发往别处。相比于验证和处理步骤，获得字符串的行为显得不是那么重要。

我创建过的一些做这种任务的工具像是函数式和基于对象思想的混合体。然而，如果只是用函数的话，那么会得到更流畅的解决方案。

首先，惰性链显然是以对象为中心的，事实上需要穿帜方法来进行操作。然而，惰性链可以被解构为三个阶段。

1．获得一些对象。

2．定义一个与对象相关的链。

3．执行该链。

获取一个对象的行为是微不足道的；它只作为 JavaScript 代码运行的一部分。定义一个链，则有趣多了。而一个惰性链被限制在一个特定的实例上执行，通过提升成对函数的操作，我可以让惰性链对跨类型的对象操作：

```
function deferredSort(ary) {
  return lazyChain(ary).invoke('sort');
}
```

这让我可以通过一个普通的函数调用创建各种数组的惰性排序：

```
var deferredSorts = _.map([[2,1,3], [7,7,1], [0,9,5]], deferredSort);

//=> [<thunk>, <thunk>, <thunk>]
```

当然，我想执行每一个 thunk，但因为要分解函数，我宁愿封装方法调用：

```
function force(thunk) {
  return thunk.force();
}
```

现在我可以执行任意惰性链：

```
_.map(deferredSorts, force);

//=> [[1,2,3], [1, 7, 7], [0, 5, 9]]
```

我已经将方法调用“提升”到函数应用的境界，现在我可以定义相应的数据处理的原子功能离散块：

```
var validateTriples  = validator(
  "Each array should have three elements",
  function (arrays) {
    return _.every(arrays, function(a) {
      return a.length === 3;
    });
  });

var validateTripleStore = partial1(condition1(validateTriples), _.identity);
```

聚合验证到它自己的函数（或许更多函数）可以让我验证独立于任何活动中的其他步骤，而且可以在类似活动中重用该验证。

再检查看验证是否按预期工作：

```
validateTripleStore([[2,1,3], [7,7,1], [0,9,5]]);
//=> [[2,1,3], [7,7,1], [0,9,5]])

validateTripleStore([[2,1,3], [7,7,1], [0,9,5,7,7,7,7,7,7]]);
// Error: Each array should have three elements
```

现在可以定义其他（不一定）懒惰的处理步骤：

```
function postProcess(arrays) {
  return _.map(arrays, second);
}
```

现在，我可以定义将这些碎片聚合到一个特定域的更高级别的活动：

```
function processTriples(data) {
  return pipeline(data
           , JSON.parse
           , validateTripleStore
           , deferredSort
           , force
```

```
            , postProcess
            , invoker('sort', Array.prototype.sort)
            , str);
}
```

processTriples 用法如下：

```
processTriples("[[2,1,3], [7,7,1], [0,9,5]]");

//=> "1,7,9"
```

将验证加到管道中的好处是，当给定的是坏数据时就会提前终止：

```
processTriples("[[2,1,3], [7,7,1], [0,9,5,7,7,7,7,7,7]]");

// Error: Each array should have three elements
```

这样我就可以随意使用该函数：

```
$.get("http://djhkjhkdj.com", function(data) {
  $('#result').text(processTriples(data));
});
```

还可以通过抽象报告逻辑让这一过程更通用：

```
var reportDataPackets = _.compose(
  function(s) { $('#result').text(s) },
  processTriples);
```

继续探索 reportDataPackets：

```
reportDataPackets("[[2,1,3], [7,7,1], [0,9,5]]");
// a page element changes
```

现在你可以将这个离散行为添加到你的应用程序，以实现预期的效果：

```
$.get("http://djhkjhkdj.com", reportDataPackets);
```

创建于一般函数可以让你将问题看成数据从管道一端到另一端的逐步转型。你应该还记得图 9-1 中，每个变换管道本身可以看作一个离散活动，以预期方式处理已知数据类型。如图 9-3 所示，兼容管道可以串成端到端的前馈方式，而不相容的管道则可以通过适配器链接。

从程序的角度来看，管道与适配器可以加到输入和输出源。这样的想法让你从较小的、已知的部分开始组合一个系统，同时允许根据需要灵活地互换部件和中间数据表现。通过适配器链接数据流的想法是可扩展的概念，从一个单一的功能到整个系统。

然而，有些时候，对象层次的思考是合适的，特别是当具体类型秉承通用 mixin 这样的抽象。在下一节中，我将谈论一个 mixin 的想法，以及如何用它对函数建立抽象。

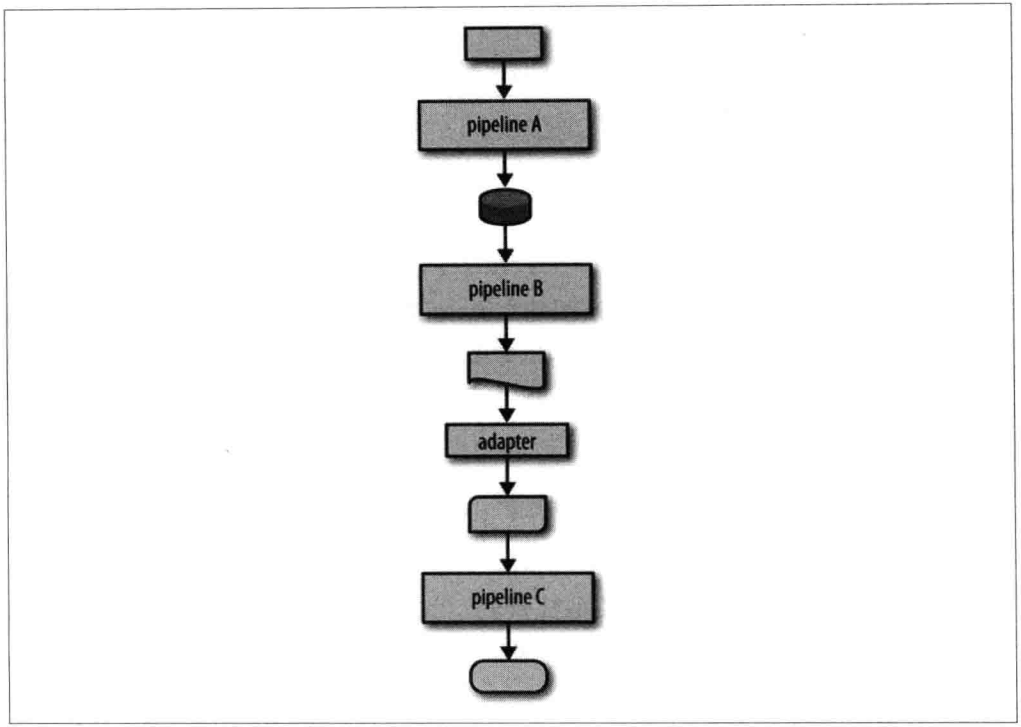


图 9-3　通过适配器链接管道

9.2　Mixins

虽然我已经花了大量的时间和篇幅概括函数式编程的风格，但有些时候，对象和方法也是很合适的解决方案。在本节中，我将概括基于 mixin 的扩展方法，类似于基于类的系统的构建，但却有意加以限制。在深入 mixin 之前，让我花点时间来加强一下对象思想。想象一下，一个函数 polyToString 接受一个对象，并返回它的字符串的表现形式。一个原生的 polyToString 实现可以是这样的：

```
function polyToString(obj) {
  if (obj instanceof String)
    return obj;
  else if (obj instanceof Array)
    return stringifyArray(obj);

  return obj.toString();
}

function stringifyArray(ary) {
  return ["[", _.map(ary, polyToString).join(","), "]"].join('');
}
```

如上述代码所示，polyToString 初期的实现可以写成嵌套 if 语句，其中每个分支进行类型检查。加入 stringifyArray 可以创建更好看的格式的字符串。我们来测试一下 polyToString 的行为：

```
polyToString([1,2,3]);
//=> "[1,2,3]"

polyToString([1,2,[3,4]]);
//=> "[1,2,[3,4]]"
```

这似乎是合理的，不是吗？如果试图建立新的字符串格式，则需要添加一个新的 if 分支到 polyToString。这样看起来很愚蠢。更好的办法是使用类似第 5 章的 dispatch。该函数接收一些函数，并尝试执行每一个函数，返回第一个非 undefined 的值：

```
var polyToString = dispatch(
  function(s) { return _.isString(s) ? s : undefined },
  function(s) { return _.isArray(s) ? stringifyArray(s) : undefined },
  function(s) { return s.toString() });
```

这次是通过使用 dispatch 进行类型检查的，我还将每个检查都抽象成单独的函数，方便以后的组合与扩展。当然，使用 dispatch 还是可以按预期方式正常工作的：

```
polyToString(42);
//=> "42"

polyToString([1,2,[3,4]]);
//=> "[1, 2, [3, 4]]"

polyToString('a');
//=> "a"
```

你可能已经想到，新类型将依然存在问题，如果它们还没有一个好的#toString 实现：

```
polyToString({a: 1, b: 2});
//=> "[object Object]"
```

然而，比起痛苦地修改嵌套 if 语句，用 dispatch 能让我简单地组合出另一个函数：

```
var polyToString = dispatch(
  function(s) { return _.isString(s) ? s : undefined },
  function(s) { return _.isArray(s) ? stringifyArray(s) : undefined },
  function(s) { return _.isObject(s) ? JSON.stringify(s) : undefined },
  function(s) { return s.toString() });
```

再次，polyToString 新的实现也如预期的正常工作：

```
polyToString([1,2,{a: 42, b: [4,5,6]}, 77]);

//=> '[1,2,{"a":42,"b":[4,5,6]},77]'
```

这样使用 dispatch 的方式看起来相当优雅[①]，但我还是不禁觉得它有点怪异。增加对另一种类型如第 7 章中 Container 的支持，就可以看出我所说的怪异：

```
polyToString(new Container(_.range(5)));

//=> {"_value":[0,1,2,3,4]}"
```

当然，可以通过往组成 dispatch 的调用链中添加另一个链接，使其看起来也更顺眼，像下面这样：

```
...
 return ["@", polyToString(s._value)].join('');
...
```

但问题是，dispatch 以一种极其简单的方式工作，即它从第一个函数开始，不断尝试直到其中一个有返回值。超出单一层级的编码类型信息最终将使它变得复杂。相反，如定制 toString 操作则会是一个很好的方法论。然而，实现这一目标的典型做法是违背我在前言中概括的 JavaScript 使用政策。

- 修改了核心原型。
- 构建了类层次结构。

在讲基于 mixin 的扩展之前，我先谈谈这两项。

9.2.1 修改核心原型

很多时候，用 JavaScript 创建新的类型时，可能需要组合或扩展之外的特定行为。Container 类型是一个很好的例子：

```
(new Container(42)).toString();
//=> "[object Object]"
```

这是不行的。显而易见的选择是，我可以将 Container 专用的 toString 方法添加到 prototype：

```
Container.prototype.toString = function() {
  return ["@<", polyToString(this._value), ">"].join('');
}
```

现在 Container 的所有实例将具有相同的 toString 行为：

```
(new Container(42)).toString();
//=> "@<42>"

(new Container({a: 42, b: [1,2,3]})).toString();
//=> "@<{"a":42,"b":[1,2,3]}>"
```

当然，Container 是我控制的类型，所以修改其 prototype 便是理所当然的，下面重

① 为了方便，我已经委派给了 JSON.stringify，因为本节重点不是如何将对象转换为字符串。

担就落在文档化期望接口和用例上。不过，如果我想补充一些核心对象能力怎么办？唯一的选择就是修改核心原型：

```
Array.prototype.toString = function() {
  return "DON'T DO THIS";
}

[1,2,3].toString();
//=> "DON'T DO THIS"
```

但问题是，如果任何人使用你的库，他创建的任何数组都会受到 Array#toString 方法的污染。因此，对于核心类型如 Array 和 Object，最好还是保持自定义行为与代理到自定义类型的函数分离。在 Container#toString 中，我们则代理给 polyToString。我会在讨论 mixin 时详细介绍这种做法。

9.2.2 类层次结构

> 在 Smalltalk 中，一切都发生在其他地方。
>
> ——阿黛尔 · 戈德堡

当使用面向对象的方法定义一个系统时，你通常试图枚举所有组成该系统的类型，以及它们之间的关联。当通过一个面向对象的眼镜来看待问题时，通常会发现类之间的关系是层次结构。比如员工类型可以分为会计师、托管人或 CEO。经常用这种层次关系来描述系统的组成。

想象一下实现 Container 类型的类型层次结构（见图 9-4）。

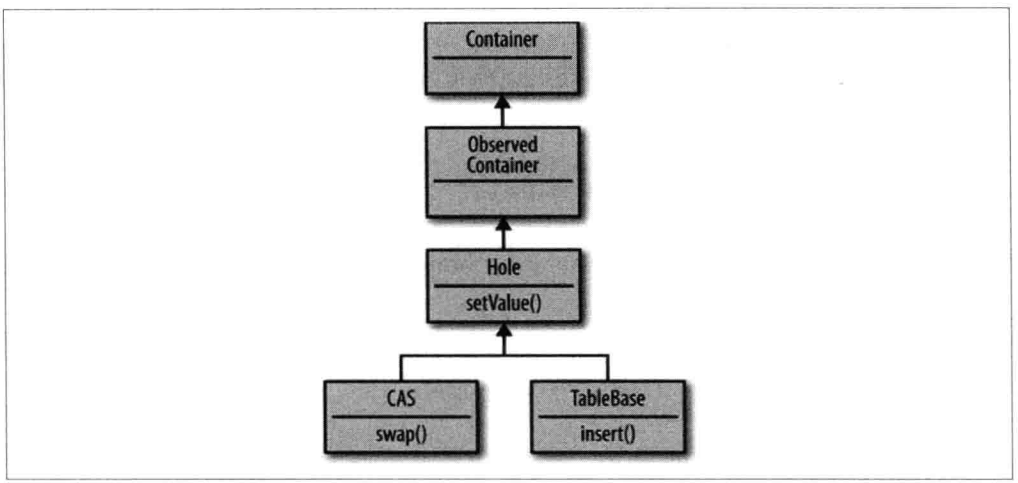


图 9-4 容器类型的层次结构

图 9-4 中指出，层次结构的根是类 Container 和派生类 ObservedContainer，该类用于连接接收状态变化信息的函数。从 ObservedContainer 中，我得出一个 Hole 类型，它是“set-able”。最后，我定义了两个不同的 Hole 类型，对如何赋值具有不同的语义。

使用基于 John Resig 创造的类库，我可以大概画出层次结构（Resig，2008）：

```
function ContainerClass() {}
function ObservedContainerClass() {}
function HoleClass() {}
function CASClass() {}
function TableBaseClass() {}

ObservedContainerClass.prototype = new ContainerClass();
HoleClass.prototype = new ObservedContainerClass();
CASClass.prototype = new HoleClass();
TableBaseClass.prototype = new HoleClass();
```

现在，所有的层次关系都联系在一起，可以试试是否如我所料：

```
(new CASClass()) instanceof HoleClass;
//=> true

(new TableBaseClass()) instanceof HoleClass;
//=> true

(new HoleClass()) instanceof CASClass;
//=> false
```

这是我所期望的继承沿层次往上走，而不是往下。现在，先在实现中放一些 stub：

```
var ContainerClass = Class.extend({
  init: function(val) {
    this._value = val;
  },
});

var c = new ContainerClass(42);

c;
//=> {_value: 42 ...}

c instanceof Class;
//=> true
```

ContainerClass 只有一个值。然而，ObservedContainerClass 提供了一些额外的功能：

```
var ObservedContainerClass = ContainerClass.extend({
  observe: function(f) { note("set observer") },
  notify: function() { note("notifying observers") }
});
```

当然，ObservedContainerClass 自身不会做太多事情。相反，需要一种方法来设置

一个值，并通知值发生变化：

```
var HoleClass = ObservedContainerClass.extend({
  init: function(val) { this.setValue(val) },
  setValue: function(val) {
    this._value = val;
    this.notify();
    return val;
  }
});
```

正如你所期望的，新 HoleClass 实例就有层次结构：

```
var h = new HoleClass(42);
// NOTE: notifying observers

h.observe(null);
// NOTE: set observer

h.setValue(108);
// NOTE: notifying observers
//=> 108
```

现在，在层次结构的底部添加新的行为：

```
var CASClass = HoleClass.extend({
  swap: function(oldVal, newVal) {
    if (!_.isEqual(oldVal, this._value)) fail("No match");

    return this.setValue(newVal);
  }
});
```

CASClass 实例中加入了额外的“比较并交换”语义，即“提供你所认为的旧值和新值，只有当预期与实际旧值匹配时才会设置新值。”这种语义的变化特别利于异步编程，因为它提供了一种检查旧值是否是期望值的方法。将 JavaScript 的“运行直到结束”保障与“比较与交换”耦合，是确保异步变化的一致性的强有力的方式[①]。

可以看看实际表现：

```
var c = new CASClass(42);
// NOTE: notifying observers

c.swap(42, 43);
// NOTE: notifying observers
//=> 43
```

① 简言之，run-to-completion 是指 JavaScript 的事件循环的一个属性。也就是说，在事件循环的某个特定“tick”运行时的调用都会保证在下个“tick”之前结束。这本书不是关于事件循环的。我推荐大卫·弗拉纳根的《JavaScript 权威指南》（第 6 版），其中进行了全面潜入 JavaScript 事件系统（或其他 JavaScript 内容）。

```
c.swap('not the value', 44);
// Error: No match
```

因此，用基于类的层次结构，可以通过实现一些小的行为，用继承来建立更大的抽象。

9.2.3 改变层级结构

然而，还有一个潜在的问题。如果我想在层次结构中间添加一个新的类型，比如叫ValidatedContainer，该类型可用于添加验证函数，应该添加到哪儿呢？

如图 9-5 所示，把 ValidatedContainer 放在与 ObservedContainer 平行的地方似乎是合乎逻辑的。

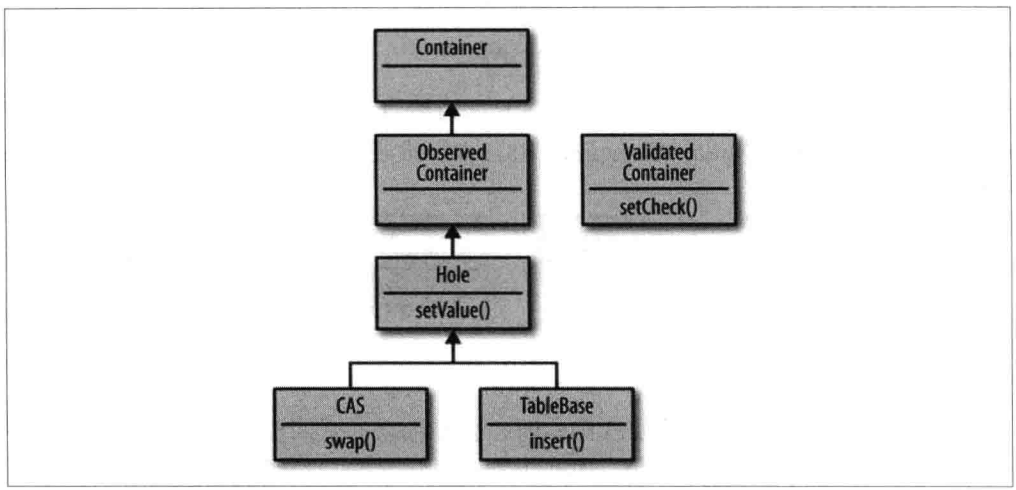


图 9-5 扩展层次结构

如果可以给所有的 Hole 都加上验证，那将再方便不过了，但我并不确定能否这样做（更别提多重继承的问题了）。我当然不想假设用户会希望这样的行为，最好是随时能扩展其功能。例如，CAS 类需要校验器，那么我可以把 ValidatedContainer 放到上层，并从它开始扩展，如图 9-6 所示。

但是，如果新的类型需要“比较并交换”语义，但并不需要验证，那么层次结构图（见图 9-6）是有问题的。绝对不应该强制实现继承自 CAS。

类层次结构最大的问题是建立在我们一开始对需要行为的假设上的。也就是说，面向对象技术决定了我们先声明行为的层次结构，然后将我们的类融合到声明中。然而，如 ValidatedContainer 所示，某些行为很难按逻辑分类。有时候行为只是单纯的行为。

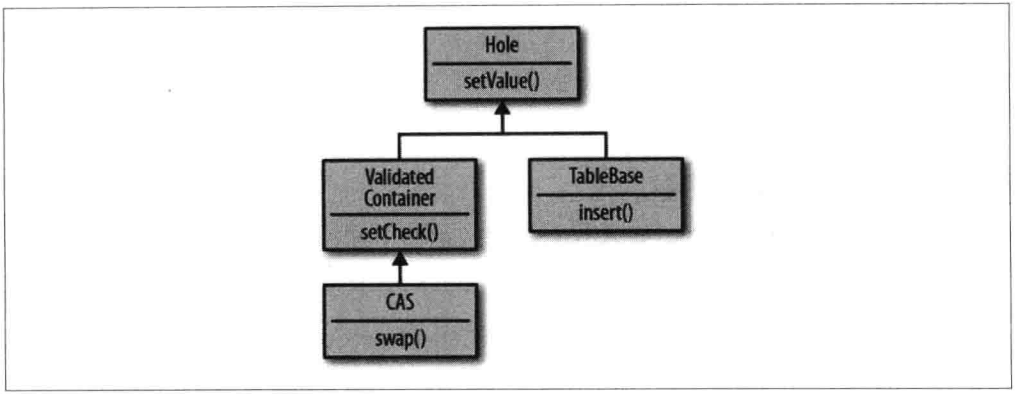


图 9-6　将特殊情况的类移动到层次结构下层是很棘手的

9.2.4　用 Mixin 扁平化层级结构

让我尝试到这里简化一下问题。试想一下，如果我可以把 Container 基本的功能 ObservedContainer，ValidatedContainer 和 Hole，放在同一层次（见图 9-7）。

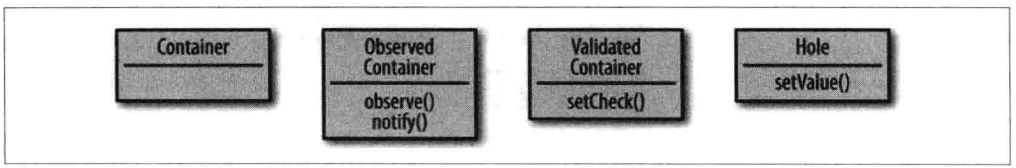


图 9-7　扁平化的层次结构

如图 9-7 所示，当我们扁平化层次结构时，会导致它们之间没有明显的关系。事实上，这些方框并不真正定义类型。事实上，这里定义的是一组离散的行为，或者说 mixins。如果我们只有行为，然后构造新的行为方式是，要么重新定义它们，要么将现成的行为“混合”起来[①]。这又让人回想起组合现有的函数创建新的函数的想法。

让我们重新实现一遍 Container：

```
function Container(val) {
  this._value = val;
  this.init(val);
}

Container.prototype.init = _.identity;
```

除了调用 init 方法，这个实现的 Container 构造函数看起来很像第 7 章中的。init 调用的出现其实定义了一个 mixin，该 mixin 扩展了 Container，使客户端与它进行交互。

① 本章提到的 mixin 是“协议”以及模板方法的设计模式的叠加，不包含继承。

具体而言，Container 的 mixin 协议如下：

（1）扩展协议

必须提供 init 方法。

（2）接口协议

只限构造函数。

通过 mixin 扩展设计 API 时，你会经常需要委托给未知函数。这不仅提供了与该类型交互的标准，而且提供了扩展点。以 Container 为例，init 调用委托给 Underscore 的_.identity。之后我会覆盖 init，但是现在，先看看如何使用 Container：

```
var c = new Container(42);

c;
//=> {_value: 42}
```

因此，新的 Container 行为还跟老的一样。但是，我想要做的是创建一个类似但是是新的类型。我想到的类型称为 Hole，具有以下语义。

- 持有值。
- 委托一个验证函数来检查设置的值。
- 委托给一个通知功能，如果值变动则发出通知。

我可以将这些语义直接映射到代码中：

```
var HoleMixin = {
  setValue: function(newValue) {
    var oldVal  = this._value;

    this.validate(newValue);
    this._value = newValue;
    this.notify(oldVal, newValue);
    return this._value;
  }
};
```

HoleMixin#setValue 方法定义了一组必须满足的情况，用来保证可以作为 Hole 的资格。任何 Hole 的扩展类型都应提供 notify 和 validate 方法。实际上并没有 Hole 类型，只有描述“Hole 属性（holiness）”[①]的 mixin。Hole 的实现相当简单：

① 译者注：作者用 holiness 双关，这里代表 Hole 的属性，但 holiness 原意为神圣。

```
var Hole = function(val) {
  Container.call(this, val);
}
```

对于 Hole 构造函数的签名跟 Container 是一样的；事实上，使用 Container.call 方法，使得 Hole 实例的 this 指针可以确保 Container 在构造函数中做的事情，都发生在 Hole 实例上下文中。

HoleMixin 的 mixin 协议规范如下。

（1）扩展协议

必须提供 notify，validate 和 init 方法。

（2）接口协议

构造函数和 setValue。

由于直接使用构造函数中的 Container，不需要再使用 init 方法了。而不符合特定的 mixin，尤其是 Container 的 mixin，有可能造成可怕的后果：

```
var h = new Hole(42);
//TypeError: Object [object Object] has no method 'init'
```

Container 扩展接口并没有达成一致，意味着任何时候使用 Hole 都将会失败。但不要绝望；有趣的是，无论是直接还是通过扩展，任何给定的类型都是由现有的 mixin 组合成的。

根据图 9-8 所示，满足 Hole 类型需要实现或者混合 ObserverMixin 及 ValidateMixin。

既然这些 mixin 都不存在，那么需要创建它们，从 ObserverMixin 开始：

```
var ObserverMixin = (function() {
  var _watchers = [];

  return {
    watch: function(fun) {
      _watchers.push(fun);
      return _.size(_watchers);
    },
    notify: function(oldVal, newVal) {
      _.each(_watchers, function(watcher) {
        watcher.call(this, oldVal, newVal);
      });

      return _.size(_watchers);
    }
  };
}());
```

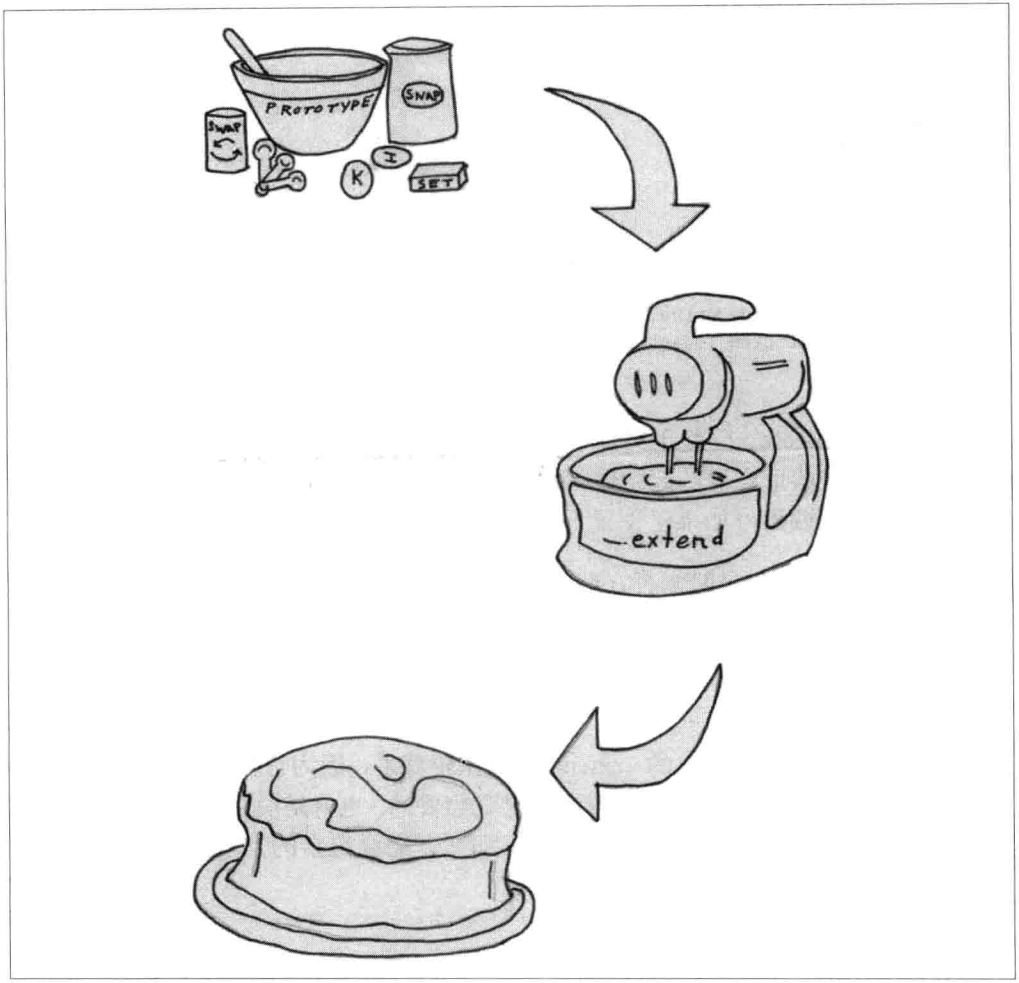


图 9-8　使用 mixin“混合”行为

使用 JavaScript 闭包(function() {...}())的魔力来封装_watchers 是常用的隐藏数据的方式，因此它也是隐藏 mixin 状态的首选方式。watch 函数接收含有两个值的函数：一个旧值和一个新值，并将其添加到_watchers 阵列。该 watch 方法同时也返回存储的 watcher 的数量。notify 方法通过遍历_watchers 并调用每个函数，最终返回通知 watcher 的数量。通过实现 ObserverMixin 可以加强 watch 函数的鲁棒性，同时也允许拆除 watcher。这部分就当作练习留给读者[①]。

① ECMAScript.next 中描述的 Object.observe 方法，其工作方式类似于本文中所描述的这个特征。这个规范应该会在太阳燃尽前成为 JavaScript 的核心实现。更多信息可参考 http://wiki.ecmascript.org/doku.php?id=harmony:observe。

第二个 mixin 是 ValidateMixin，实现如下：

```
var ValidateMixin = {
  addValidator: function(fun) {
    this._validator = fun;
  },
  init: function(val) {
    this.validate(val);
  },
  validate: function(val) {
    if (existy(this._validator) &&
        !this._validator(val))
      fail("Attempted to set invalid value " + polyToString(val));
  }
};
```

如上所示，ValidateMixin 终于满足了 init 扩展的要求。这样做比较合理，因为有效的初始化步骤是验证容器的起始值。另外两个函数 addValidator 和 validate，设置验证功能，并分别调用（如果已设置）。

既然已经有了 mixin，是时候将它们混合在一起以满足 Hole 类型的要求了：

```
_.extend(Hole.prototype
         , HoleMixin
, ValidateMixin
, ObserverMixin);
```

第 7 章中提到的 Underscore 的_.extend 函数比较棘手，因为它会修改目标对象。然而，在 mixin 扩展的情况下，这种行为正是我想要的。也就是说，通过使用_.extend，我可以将所有的方法拷贝到 Hole.mixin。那么，完全混合的实现是如何工作的？注意：

```
var h = new Hole(42);
```

构造函数仍然能正常工作。如果我加一个肯定会失败的验证器，会怎么样呢？

```
h.addValidator(always(false));

h.setValue(9);
// Error: Attempted to set invalid value 9
```

由于添加了一个对所有情况都返回的 false 的验证器，无法再次设置其他值，除非删除验证功能。然而，让我创建一个验证限制较少的新 Hole 实例：

```
var h = new Hole(42);

h.addValidator(isEven);
```

新的实例只允许偶数的值：

```
h.setValue(9);
// Error: Attempted to set invalid value 9

h.setValue(108);
//=> 108

h;
//=> {_validator: function isEven(n) {...},
//    _value: 108}
```

Hole 的实例 h 只允许设置偶数的值。下面我用 watch 方法添加 watcher：

```
h.watch(function(old, nu) {
  note(["Changing", old, "to", nu].join(' '));
});
//=> 1

h.setValue(42);
// NOTE: Changing 108 to 42
//=> 42
```

传入偶数 42 表明 watcher 被调用，所以再增加一个也一样可以：

```
h.watch(function(old, nu) {
  note(["Veranderende", old, "tot", nu].join(' '));
});
//=> 2

h.setValue(36);
// NOTE: Changing 42 to 36
// NOTE: Veranderende 42 tot 36
//=> 36
```

所以我已经成功通过使用两个构造函数调用创建了一个新的 JavaScript 类型，并通过混合离散的数据包合成一个连贯的 hole……我的意思是 whole[①]。在下一节中，我将讨论如何使用 mixin 扩展现有类型新的功能。

9.2.5 通过 Mixin 扩展新的语义

添加新的功能到现有的 JavaScript 类型实在不能太简单了；只需要污染 prototypeKABOOM，就可以附加上新的行为。KABOOM 这里其实代表操作，因为实际上没有这么简单。扩展现有类型并不总是这么简单直白，因为你永远不知道是否会打破一些微妙的内部平衡。请牢记这一点，我将探讨如何扩展 Hole 类型的功能，包括新的语义变化。首先，我喜欢将 setValue 方法作为一种低层次的方式来插入变化机制的想法。不过，我想提出另一个方法 swap，它接收一个函数和一些参数，并基于调用结果设置新值。解释该想法的最好办法是给出实现的例子：

① 译者注：作者的双关，合成一个整体（Whole），又指合成一个新类型 Hole。

```
var SwapMixin = {
  swap: function(fun /* , args... */) {
    var args = _.rest(arguments)
    var newValue = fun.apply(this, construct(this._value, args));

    return this.setValue(newValue);
  }
};
```

SwapMixin 的 swap 方法确实需要一个函数和一些参数。然后用给出的函数计算_value 和其他参数得出新的值。SwapMixin 的 mixin 协议规范如下。

（1）扩展协议

必须提供 setValue 方法和_value 属性。

（2）接口协议

swap 方法。

其实我可以分开测试 SwapMixin：

```
var o = {_value: 0, setValue: _.identity};

_.extend(o, SwapMixin);

o.swap(construct, [1,2,3]);
//=> [0, 1, 2, 3]
```

如上所示，该 swap mixin 似乎符合逻辑。在我用它来增强 Hole 之前，我想实现另一个 mixin：SnapshotMixin，它提供一种从 Hole 实例取值的安全方法：

```
var SnapshotMixin = {
  snapshot: function() {
    return deepClone(this._value);
  }
};
```

SnapshotMixin 提供了一个新的名为 snapshot 的方法，该方法克隆其所在对象。现在，Hole 新的规范为：

```
_.extend(Hole.prototype
         , HoleMixin
         , ValidateMixin
         , ObserverMixin
         , SwapMixin
         , SnapshotMixin);
```

从现在开始，任何新的 Hole 实例都将具有增强的行为：

```
var h = new Hole(42);

h.snapshot();
//=> 42

h.swap(always(99));
//=> 99

h.snapshot();
//=> 99
```

Mixin 扩展不仅是定义新类型强有力的方式，同时也可以增强现有类型。请记住它并不总是直接扩展现有的类型，而且额外的任何扩展都是对全局起作用。

9.2.6 通过 Mixin 混合出新的类型

现在，我已经展示了如何定义两个基本类型（Container 和 Hole），让我实现一个叫 CAS 的类型，提供“比较和交换”语义。也就是说，任何类型的变化都发生在你已知道现有的值会发生什么的前提下。从 Hole 的构造函数开始定义：

```
var CAS = function(val) {
  Hole.call(this, val);
}
```

CASMixin 定义有趣的部分是，它覆盖了 SwapMixin 的 swap 方法：

```
var CASMixin = {
  swap: function(oldVal, f) {
    if (this._value === oldVal) {
      this.setValue(f(this._value));
      return this._value;
    }
    else {
      return undefined;
    }
  }
};
```

CASMixin#swap 方法接收两个参数，而 SwapMixin 接收一个。此外，如果预期值与实际_value 不符，CASMixin#swap 方法将返回 undefined。有两种方法来混合 CAS 类型的实现。首先，我只需要放弃 SwapMixin 而用 CASMixin 代替，因为我知道，swap 方法是唯一的替代品。不过，我会修改_.extend 顺序来处理重载：

```
_.extend(CAS.prototype
         , HoleMixin
         , ValidateMixin
         , ObserverMixin
         , SwapMixin
         , CASMixin
         , SnapshotMixin);
```

虽然我知道 SwapMixin 完全包括在 CASMixin 内，但保留下来也不完全是坏事。原因是，如果不控制 SwapMixin，那么以后想扩展增强 swap 方法就变得容易了。将其留在扩展链，我可以在未来随意扩展。如果我不喜欢未来“增强”功能，那么我可以选择以后删除 SwapMixin。作为本节的总结，展示一下 CAS 类型的使用方式：

```
var c = new CAS(42);

c.swap(42, always(-1));
//=> -1

c.snapshot();
//=> -1

c.swap('not the value', always(100000));
//=> undefined
c.snapshot();
//=> -1
```

这总结了 mixin 扩展的讨论。不过，这里还要声明一点：如果处理得当，mixin 扩展是一个实现细节。事实上，基于 mixin 编程仍然会碰到像基本类型、数组和对象（如 map）的简单数据。具体来说，我发现在处理大量的数据元素，那么简单的数据是最好的，因为你可以使用普通的工具和函数来处理它，用越通用的数据处理工具则越好。另外，你一定会找到一个需要建立高度特化类型，以及良好定义的接口驱动的类型语义[①]。我也是通过这些特化类型的用例发现基于 mixin 开发的真正优势。

简单的数据是最好的。特化数据类型就应该特别。

9.2.7 方法是低级别操作

这在上一节中创建的类型是以对象/方法为中心的技术细节，不是函数式 API。正如我在本书中强调的，如果创建得好，函数式 API 是可组合的，而且不需要了解组合的中间类型。因此，通过简单地创建用于访问和操作的容器类型的函数的 API，我可以隐藏大部分执行细节。

首先，从容器开始：

```
function contain(value) {
  return new Container(value);
}
```

① 如果你有 Scala 的背景，那么这里介绍的基于 mixin 的开发还远未实现知名蛋糕模式（Wampler 2009）。然而，通过运行时 mixin 检查，可以大概达到大型模块定义的功能。

简单吧？如果我提供了一个容器库，那么我会提供 contain 函数作为面向用户的 API：

```
contain(42);
//=> {_value: 42} (of type Container, but who cares?)
```

对于开发者，可能还需要提供 mixin 定义以便扩展用。

Hole 的函数式 API 没有什么变化，但比较强大：

```
function hole(val /*, validator */) {
  var h = new Hole();
  var v = _.toArray(arguments)[1];
  if (v) h.addValidator(v);

  h.setValue(val);

  return h;
}
```

我已经成功封装了大量 hole 函数的验证逻辑。这是理想的情况，因为我可以随意编写下层的方法。使用 hole 函数的约定比使用 Hole 构造函数和 addValidator 方法的组合要简单得多：

```
var x = hole(42, always(false));
// Error: Attempted to set invalid value 42
```

同样，虽然 setValue 是该类型的方法，但没有理由暴露其功能，而只需要 swap 和 snapshot 函数来替代：

```
var swap = invoker('swap', Hole.prototype.swap);
```

swap 函数跟很多 invoker 绑定方法一样，用目标对象作为第一个参数：

```
var x = hole(42);

swap(x, sqr);
//=> 1764
```

暴露的 CAS 类型的功能与 Hole 非常相似。

```
function cas(val /*, args */) {
  var h = hole.apply(this, arguments);
  var c = new CAS(val);
  c._validator = h._validator;

  return c;
}

var compareAndSwap = invoker('swap', CAS.prototype.swap);
```

我使用（可能是滥用）Hole 类型的私有细节来实现大部分 CAS 函数的功能，但因为我可以控制这两种类型的代码，强耦合好像也是合理的。一般情况下，我会避免

这种情况发生，尤其是如果滥用类型不在控制范围内。

最后，我现在用泛型委托实现余下的容器功能：

```
function snapshot(o) { return o.snapshot() }
function addWatcher(o, fun) { o.watch(fun) }
```

这些函数都可以正常工作：

```
var x = hole(42);

addWatcher(x, note);

swap(x, sqr);
// NOTE: 42 chapter01.js:38
//=> 1764

var y = cas(9, isOdd);

compareAndSwap(y, 9, always(1));
//=> 1

snapshot(y);
//=> 1
```

我相信，通过给容器类型加上函数式的外壳，我已经获得了对象/方法模式所达不到的灵活性。

9.3 }).call(“Finis”);

本章总结了如何用 JavaScript 函数式编程方式构建软件。即使有些看似是对象或类的问题，很多时候也可以用函数式的方式来达到同样的目标。不仅可以用函数式方式来构建系统的一部分，还可以通过不捆绑你的用户到以对象为中心的 API，以建立功能更加灵活的系统。

同样，即使当一个问题需要对象的思想，从函数式的角度导致的解决方案会完全不同于面向对象的程序设计。如果函数式组合被证明为更有用，对象组合怎么办？在本章中，我讨论了基于 mixin 的设计以及它如何将对象组合转化为函数式风格。

写这本书，对我来说一直很有乐趣。我希望整个过程都对你富有启发。不应该只把函数式编程当作学习目标，而是作为实现自己的目标的技术。可能有的时候，它不是最佳选择，但即使这样，函数式的思维还是有助于改变你的通用构建软件的方式。

附录 A

更多函数式 JavaScript

本书并不能代表 JavaScript 函数式编程原始的思想。多年以来，自从有了 JavaScript，人们已经将其推向函数式风格。在本附录中，我将试图简单地总结一下函数式 JavaScript 的用例以及库。出现顺序不代表排名。

A.1 JavaScript 的函数式库

其实有无数值得注意的 JavaScript 库。我将展示一些高级特征，并提供几个例子。

A.1.1 Functional JavaScript

Oliver Steele 的 Functional JavaScript 库，是我发现的第一个函数式率。它提供了常用的高阶函数如 map，但它提供的是非常有趣的基于字符串的简短形式的函数格式。也就是说，要对数组中的数字做乘方，通常我们会这样写：

```
map(function(n) { return n * n }, [1, 2, 3, 4]);
//=> [2, 4, 9, 16]
```

然而，Functional JavaScript 库的函数可以写成字符串：

```
map('n*n', [1, 2, 3, 4]);
//=> [2, 4, 9, 16]
```

Functional JavaScript 还可以柯里化这种字符函数：

```
var lessThan5 = rcurry('<', 5);
lessThan5(4);
//=> true

lessThan5(44);
//=> false
```

Functional JavaScript 利用高超的 JavaScript 元编程技术，非常值得探索。

A.1.2 Underscore-contrib

很久以前我写了一个叫 Doris 的函数式 JavaScript 库，其深受 Steele 的 Functional JavaScript 和 Clojure 语言的影响。我自己用了 Doris 一段时间，但最终转向 Underscore 和 ClojureScript。在写这本书时，我又重新翻出 Doris 的源代码，移植到 Underscore，并清理了代码，更名为 Lemonad（读作 lemonade），然后将大部分的功能集成到 Underscore-contrib 库。

Underscore-contrib 为 Underscore 提供数十种有益的应用性、高阶和 monadic 函数。当导入 Underscore-contrib 时，所有函数会混入到 Underscore 的_对象，将 Underscore 发挥到极致。除了核心函数，我已经实现了一些“额外”的 Underscore-contrib，包括以下内容。

（1）Codd

一个关系代数库。

（2）Friebyrd

提供嵌入式逻辑系统的库。

（3）Minker

提供嵌入式数据记录的库。

```
var a = ['a','a','b','a'];
var m = _.explode("mississippi");

_.frequencies(a)
//=> {a: 3, b: 1}

_.frequencies(m)
//=> {p: 2, s: 4, i: 4, m: 1}
```

还有许多好用的函数。幸运的是，大多数在这本书中定义的函数都能在 Lemonad 或 Underscore-contrib 中找到，可以把本身看成非官方的说明书。

A.1.3 RxJS

微软的 Reactive Extensions for JavaScript（RxJS）是异步事件驱动编程模型库。RxJS 使用 Observable 抽象，它允许你通过一个丰富的如 LINQ 般的功能查询模型处理异步数据流。

当我还年轻的时候，我花了很多时间玩任天堂 NES 系统。日本的 Konami 公司创造了许多有趣的游戏，但其中我最喜欢的要属魂斗罗。魂斗罗的目标是……好吧，没人关心。有趣的是，你可以输入获得 30 个额外的生命作弊代码。作弊代码描述如下：

```
var codes = [
    38, // up
    38, // up
    40, // down
    40, // down
    37, // left
    39, // ripgt
    37, // left
    39, // ripgt
    66, // b
    65  // a
];
```

这段金手指代码可以进入游戏开始前输入，这也是我能玩通关魂斗罗的唯一原因。如果你想把这段 Konami 码添加到一个网页，那么你可以用 RxJS 来做。RxJS 中有能方便比较序列的方法 sequenceEqual，可以用来检查 Konami 码相符：

```
function isKonamiCode(seq) {
  return seq.sequenceEqual(codes);
}
```

RxJS 可以让你挖掘到异步事件，包括页面文档的按键、许多来源，如下所示：

```
var keyPressStream = $(document).keyupAsObservable()
  .select(function (e) { return e.keyCode })
  .windowWithCount(10, 10);
```

keyPressStream 代表按键事件建立的键码流。比起观察每一次按键，RxJS 可以用 windowWithCount 方法把流截成块。还有一点是，RxJS 点缀了 jQuery 本身有关 Observable 创建的方法，并且应用到其他各种 JavaScript 框架中，能与现有的库无缝集成。

现在，有了键码流，我可以声明告诉 RxJS 要做什么：

```
keyPressStream
  .selectMany(isKonamiCode)
  .where(_.identity)
  .subscribe(function () {
    alert("You now have thirty lives!");
  });
```

值得注意的是，where 方法可以改变前进的道路上的数据值，但我选择让数据经过 _.identity 函数。subscribe[①] 方法中的函数会在 selectMany 返回 truthy 时执行。如果

① 译者注：作者原文笔误写成了 select 方法。

我要将前面的代码加载到一个网页，并推动其次是字符“a”和方向键的正确顺序“B”，那么警告框将推出。

RxJS 是很好的库，它提供了将异步流捕获成值的方式——一个真正令人费解的范式。

A.1.4 Bilby

Bilby 将 Lemonad 升级到了新的高度。Brian McKenna 的自包含函数式库 Bilby 扩展了 JavaScript 中函数式风格的可能性。Bilby 的所有函数集都十分值得通读，其中多重方法的实现非常好。

Bilby 的多重方法与第 5 章中定义的函数 dispatch 非常类似，但更为强大和灵活。通过 Bilby，可以定义任意数量的对应条件分发的函数。Bilby 还提供聚合相关的方法和属性的模块系统 environment：

```
var animals = bilby.environment();
```

加入多重方法之前，我可以定义一些辅助函数：

```
function voice(type, sound) {
  return ["The", type, "says", sound].join(' ');
}

function isA(thing) {
  return function(obj) {
    return obj.type == thing;
  }
}

function say(sound) {
  return function(obj) {
    console.log(voice(obj.type, sound));
  }
}
```

使用这些辅助函数，我可以告诉 Bilby：

- 该方法的名称；
- 检查参数的谓词函数；
- 一个动作函数用来执行该方法的行为。

Environment#method 只需三个参数：

```
var animals = animals.method('speak', isA('cat'), say("mew"));
```

装饰好的 environment 会返回一个新的环境。现在可以调用 speak：

```
animals.speak({type: 'cat'});
// The cat says mew
```

添加一个新的多态行为很简单：

```
var animals = animals.method('speak', isA('dog'), say("woof"));
```

对狗类型调用 speak 也按预期工作：

```
animals.speak({type: 'cat'});
// The cat says mew

animals.speak({type: 'dog'});
// The dog says woof
```

当然，我可以给谓词函数加任意条件：

```
var animals = animals.method('speak',
  function(obj) {
    return (isA('frog')(obj) && (obj.status == 'dead'))
  },
  say('Hello ma, baby!'));
```

所以传进去一个死的青蛙也同样可以工作：

```
animals.speak({type: 'frog', status: 'dead'});
// The frog says Hello ma, baby!
```

Bilby 提供的远比多重方法要多，包括可以返回函数的蹦床、monadic 结构、验证器等。

A.1.5 allong.es

Reginald Braithwaite 的 allong.es 库有一堆有用的函数组合子。但是，从我（可能不是很深入）的角度看，有趣的方面是它对有状态的迭代器的支持：

```
var iterators = require('./allong.es').iterators
var take = iterators.take,
    map = iterators.map,
    drop = iterators.drop;

var ints = iterators.numbers();
```

除了引入 allong.es 的迭代函数，我还定义了一个数字迭代器 ints。然后就可以“操作”ints 迭代器：

```
var squares = take(drop(map(ints, function(n) {
  return n * n;
}), 100000), 100);
```

这里我对所有整数取平方，去掉前 100 000 个结果，只取之后的 100 个。allong.es 迭代器的神奇之处在于，我实际上还没有执行任何计算。只有当我用外部迭代器去

查询时（查询迭代器 for 将触发所有计算）：

```
var coll = [];
for (var i = 0; i < 100; i++ ) {
  coll.push(squares())
}

coll;
//=> [10000200001,
//    10000400004,
//    10000600009,
//    10000800016,
//    10001000025,
//    10001200036,
//    ...
//    10020010000]
```

我可以通过手动取 100 001 的平方（还记得我去掉了前 100 000 吗？）：

```
100001 * 100001
//=> 10000200001
```

手动计算的答案与 coll 阵列第一个元素是匹配的。allong.es（和对一般迭代器）能做的实在太多了，我建议读者继续探索。

A.1.6 其他函数式库

有越来越多的不同程度支持函数式编程的 JavaScript 库。jQuery 一直有函数式的部分，而且引入了 promises。我一直关注的 Reduces 项目，实现了一个广义的可 reduce 的集合 API，其灵感来自 Clojure 的 reducer。Lo-Dash 项目是 Underscore 的一个主要分支，尝试用简洁的内核并提供更高的性能。David Nolen 的 Mori 项目模拟 ClojureScript 的核心库，包括它的持久数据结构。Udon 是类似于 Lemonad 的简单函数式库。最后，prelude.ls 也是一个简单的函数式库。然而，prelude.ls 的不同之处在于，它起初是由 TypeScript 编译成 JavaScript[①]。

A.2 能编译成 JavaScript 的函数式语言

如果函数式库都不能使之简单，越来越多的程序员在使用 JavaScript 作为其编制目标的新语言。我只列出很少一部分我熟悉的语言。下面这些基本是我用在真正的项目或贡献过的，或是平时闲暇时自学的语言。

A.2.1 ClojureScript

ClojureScript 编程语言是能编译为 JavaScript 的 Clojure 的一个变体。它有许多

① 译者注：其实是 LiveScript 的函数式库，参见 http://livescript.net。

Clojure 的特性，包括但不限于。

- 持久化数据结构。
- 引用类型。
- 命名空间。
- 强大的 JavaScript 的互操作。
- 惰性。
- 解构赋值。
- 协议，类型及记录。

ClojureScript 大概是这样的：

```
(defn hi [name]
  (.log js/console (str "Hello " name "!")))

(hi "ClojureScript")

;; (console) Hello ClojureScript
```

ClojureScript 针对大型 JavaScript 应用来说是门很好的语言。事实上，我已经开始用 Pedestal web 框架来编写健壮的单页面应用程序[①]。读者可以通过我的另一本书 *The Joy of Clojure* 第 2 版发掘 ClojureScript 的乐趣。

A.2.2 CoffeeScript

CoffeeScript 是一种流行的编程语言，它用简明的语法阐明了“JavaScript 精粹”。这个“Hello World”的例子简直微不足道：

```
hi = (name) ->
  console.log ['Hello ', name, '!'].join ''

hi 'CoffeeScript'

# (console) Hello CoffeeScript
```

它对于 JavaScript 的附加功能包括。

- 文学编程（Literate programming）支持（我非常喜欢）。
- 可变参数。

① 前身叫 Pedestal，官网是 http://pedestal.io/。

- 列表解析。
- 解构赋值。

它的函数式编程的支持比 JavaScript 更好，能写出函数式风格的更简洁的代码。

A.2.3 Roy

Roy 是一个静态类型的函数式编程语言，早期阶段的灵感来自 ML。Roy 提供了许多 ML 家族语言常见的特性，包括模式匹配、结构类型，以及标记并集（tagged unions）。我最感兴趣的是它的类型系统。如果我试着去连接 JavaScript 的字符，会得到意想不到的惊喜：

```
let hi name: String =
  alert "Hello " + name + "!"

// Error: Type error: String is not Number
```

Roy 保留了+运算符只做数学运算，不允许串联操作。然而，Roy 提供了++运算符：

```
let hi name: String =
  console.log "Hello " ++ name ++ "!"
```

调用 hi 函数非常简单：

```
hi "Roy"

// Hello Roy!
```

我将持续关注 Roy 的进展，并希望看到更多好的东西。

A.2.4 Elm

跟 Roy 一样，Elm 是一种静态类型的语言，能编译为 JavaScript。另外，Elm 不允许使用+进行字符串连接，如下所示：

```
hi name = plainText ("Hello " + name + "!")

-- Type error (Line 1, Column 11):
-- String is not a {Float,Int}
-- In context: + "Hello "
```

还有，Elm 保留了++函数用于这样的用途：

```
hi name = plainText ("Hello " ++ name ++ "!")

main = hi "Elm"

-- (page text) Hello Elm!
```

然而，Elm 跟 Roy 不同的是，它不仅仅是一种编程语言，也是用于开发的系统。也

就是说，Elm 是以函数式响应式编程（Functional Reactive Programming，FRP）范式为中心的语言。简而言之，FPR 为达到构建健壮的响应系统范围的变化而集成了时间模型以及事件系统。单单用这一页永远无法充分覆盖 FRP，估计要写一本书才足够。如果你想扩展一下思路，Elm 是个不错的选择，即使只是练习。

作者简介

Michael Fogus 在分布式仿真、机器视觉和专家系统建设方面经验丰富。他主要活跃于 Clojure 和 Scala 社区。他是《Clojure 编程乐趣》一书的作者。

封面介绍

函数式 JavaScript 封面的动物是绒鸭（Somateria mollissima），长度在 50～70 厘米之间的海鸭。绒鸭活动在欧洲、北美海岸和西伯利亚的东海岸。他们会在冬天迁移到北方温带地区。绒鸭会以每小时 113 千米（70 英里）的速度飞行。

雌性绒鸭会用胸部的羽毛筑巢，通常建在海洋附近。绒鸭毛通常会用作枕头和被子填充物。为了可持续利用，通常会在绒鸭放弃巢之后收集这些鸭绒。近年鸭绒被合成替代品和农产品鹅绒取代。

雄性绒鸭的特点是黑白羽毛相间，绿色的脖子；雌性绒鸭则是棕色的。在一般情况下，绒鸭体型笨重、大，有着楔形的鸟喙。它们以甲壳类动物和软体动物为食。对于它们青睐的食物如贻贝，是整个吞下，在胃部将壳压碎。

该物种在北美和欧洲的数量在 1.5 万～200 万只；而在西伯利亚东部的数量很大，但具体数目尚不清楚。在英格兰诺森伯兰郡的法尔群岛，绒鸭在 676 年成为第一个鸟类保护法的保护对象。该法律由诺森伯兰郡的守护神 Saint Cuthber 建立，并且给绒鸭命名为“Cuddy 的鸭子”（“Cuddy”是“Cutherbert”的昵称）。

在 20 世纪 90 年代，由于不断变化的冰川，绒鸭在加拿大的哈德逊湾相继死亡。据加拿大野生生物服务机构收集的数据，之后数量有所回升。

附录 B

推荐书目

论文/书籍/博客文章/会谈

计算机程序的构造和解释，Harold Abelson, Gerald Jay Sussman, Julie Sussman (MIT Press, 1996)

这本书是最有影响力的编程书籍。每一页是一个宝石，所有句子都是亮点。非常值得关注和研究。

解析极限编程：拥抱变化，Kent Beck（Addison-Wesley，1999）

引人入胜的书，阐明了革命性的编程原则。

函数式编程简介，Richard J. Bird and Philip Wadler（Prentice Hall，1998）

我更喜欢第一个版本。

Closure：权威指南，Michael Bolin (O'Reilly, 2010)

Bolin 对 JavaScript 的伪类的继承的思想对我影响深刻。

JavaScript Allongé，Reginald Braithwaite (Leanpub, 2013)

我有幸读到这本伟大的书的初稿，这将是本书一个不错的后续读物。将函数式 JavaScript 推到了极致。

JavaScript 精粹，Douglas Crockford（O'Reilly，2008）

Crockford 的书就像是一个写得很好恐怖电影。它是编程书籍中的《阴风阵阵》。它会

让你做恶梦，但你无法把目光移开。

数据库系统导论，C.J. Date （Addison-Wesley，2003）

一定要读。

SQL 与关系理论：如何编写准确 SQL 代码，C.J.Date（O'Reilly，2011）

一个惊人的书，真正了解关系代数以及我们写的查询为何如此之慢的原因。

JavaScript：权威指南，第 6 版 David Flanagan（O'Reilly，2011）

在我看来是 JavaScript 的终极书。

领域特定语言，Martin Fowler（Addison-Wesley，2010）

一个深邃的作家和思想家的深刻的话题。

设计模式：可复用面向对象软件，Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, and John Vlissides (Addison-Wesley, 1995)

深受喜爱和嘲笑，这本书原本是寻找描述系统的建设的通用语言，值得一读。

Java 并发实践，Brian Goetz 等。（Addison-Wesley，2005）

如果你曾经打算写 Java 代码，那绝对的必读。

On Lisp ，Paul Graham (Prentice Hall, 1993)

被许多人认为是权威 Lisp 书籍。

Effective JavaScript：编写高质量 JavaScript 代码的 68 个有效方法，David Herman（Addison-Wesley，2012）

像 *JavaScript Allong é*，Herman 的书也是本书的扩展读物。

Clojure 编程乐趣，Chris Houser，Michael Fogus 第二版（Manning，2013）

函数式 JavaScript 的另一个目标是提供能平滑的过渡到理解 Clojure 乐趣的知识。

Hints for Computer System Design {0)，Butler W. Lampson (Xeror Palo Alto Research Center, 1983)

Lampson 很大的影响了现代编程，即使你可能从来没有听说过他的名字。

ML 程序设计教程，第二版，L.C. Paulson（剑桥大学出版社，1996）

通过阅读 ML 能为你理解函数式 JavaScript 带来什么呢？事实证明有很多益处。

Applicative High Order Programming: Standard ML in Practice ，Stefan Sokolowski (Chapman & Hall Computing, 1991)

一个被遗忘的宝藏。

JavaScript 模式，Stoyan Stefanov (O'Reilly, 2010)

这里的模式不是“设计模式”中的概念，而是 JavaScript 程序常用结构的模式。一个很不错的读物。

Common Lisp: A Gentle Introduction to Symbolic Computation，David S. Touretzky (Addison-Wesley/Benjamin Cummings, 1990)

通过阅读 Lisp 能为你理解函数式 JavaScript 带来什么呢？事实证明有很多益处。

Programming Scala，Dean Wampler and Alex Payne (O'Reilly, 2009)

一个写得很好的 Scala 书，提供免费在线阅读。

高性能 JavaScript，Nicolas Zakas（O'Reilly，2010）

加速你的功能抽象的基本阅读。

演讲

“Pushing The Limits of Web Browsers…or Why Speed Matters”，*Lars Bak*

2012 年 Strange Loop 大会的特邀主题演讲。Bak 是几十年来语言速度优化的驱动力。

“*Programming with Values in Clojure”，Alan Dipert*

2012 年的 Clojure / West 会议的专题介绍。

“*The Next Mainstream Programming Language: A Game Developer's Perspective”，Tim Sweeney*

2006 年 Symposium on Principles of Programming Languages 会议的专题介绍。

博客文章

Can functional programming be liberated from the von Neumann paradigm?，Conal Elliott

在探索如何以及为什么 I / O 破坏函数式的理想的描述性。

Markdown，John Gruber

Markdown 越来越普及了。

Rich Hickey Q&A，Rich Hickey，Michael Fogus. Code Quarterly 2011.

充满了关于编程，设计和语言和系统的宝石。

Monads are Tress with Grafting，*Dan Piponi*

这篇文章帮助了我理解 Monad。不过情况因人而异。

Simple JavaScript Inheritance，*John Resig*

虽然我不喜欢层次建设，Resig 的实现是非常干净和有启发。

Understanding Monads With JavaScript，Ionut G. Stan

Stan 的 Monad 实现帮助了我对 Monad 的理解。此外，actions 的实现是从他的代码派生的。

Execution in the Kingdom of Nouns，Steve Yegge

Yegge 将面向对象 vs 函数式编程比作动词 vs 名词。虽然他的观点是值得商榷的，但是还是很形象的。

Maintainable JavaScript: Don't modify objects you don'town，Nicholas Zakas

Zakas 对 JavaScript 风格的思考了相当长一段时间。

杂志文章

"*Why functional programming matters*"，John Hughes. The Computer Journal (1984)

在明确的论述函数式编程。虽然给出的例子不怎么好，散文倒是非常值得一读。