O'REILLY®

TURING 图灵程序设计丛书

C#并发编程经典实例

Concurrency in C# Cookbook

[美] Stephen Cleary 著
相银初 译

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

TURING 图灵程序设计丛书

C#并发编程经典实例

Concurrency in C# Cookbook

[美] Stephen Cleary 著
相银初 译

人民邮电出版社
北 京

图书在版编目（CIP）数据

C#并发编程经典实例 / （美）克利里（Cleary, S.）著 ; 相银初译. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2015.1
（图灵程序设计丛书）
ISBN 978-7-115-37427-1

Ⅰ. ①C… Ⅱ. ①克… ②相… Ⅲ. ①C语言－程序设计 Ⅳ. ①TP312

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第260737号

内 容 提 要

本书全面讲解C#并发编程技术，侧重于.NET平台上较新、较实用的方法。全书分为几大部分：首先介绍几种并发编程技术，包括异步编程、并行编程、TPL数据流、响应式编程；然后阐述一些重要的知识点，包括测试技巧、互操作、取消并发、函数式编程与OOP、同步、调度；最后介绍了几个实用技巧。全书共包含70多个有配套源码的实用方法，可用于服务器程序、桌面程序和移动应用的开发。

本书适合具有.NET基础，希望学习最新并发编程技术的开发人员阅读。

◆ 著 [美] Stephen Cleary
译 相银初
责任编辑 李松峰
执行编辑 李 静 曹静雯
责任印制 杨林杰

◆ 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
北京鑫正大印刷有限公司印刷

◆ 开本：800×1000 1/16
印张：11.75
字数：237千字 2015年1月第1版
印数：1－3 000册 2015年1月北京第1次印刷
著作权合同登记号 图字：01-2014-6523号

定价：49.00元

读者服务热线：(010)51095186转600 印装质量热线：(010)81055316
反盗版热线：(010)81055315
广告经营许可证：京崇工商广字第0021号

版权声明

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*

译者序

关于并发编程的几个误解

关于并发编程，很多人都有一些误解。

误解一：并发就是多线程

实际上多线程只是并发编程的一种形式，在 C# 中还有很多更实用、更方便的并发编程技术，包括异步编程、并行编程、TPL 数据流、响应式编程等。

误解二：只有大型服务器程序才需要考虑并发

服务器端的大型程序要响应大量客户端的数据请求，当然要充分考虑并发。但是桌面程序和手机、平板等移动端应用同样需要考虑并发编程，因为它们是直接面向最终用户的，而现在用户对使用体验的要求越来越高。程序必须能随时响应用户的操作，尤其是在后台处理时（读写数据、与服务器通信等），这正是并发编程的目的之一。

误解三：并发编程很复杂，必须掌握很多底层技术

C# 和 .NET 提供了很多程序库，并发编程已经变得简单多了。尤其是 .NET 4.5 推出了全新的 `async` 和 `await` 关键字，使并发编程的代码减少到了最低限度。并行处理和异步开发已经不再是高手们的专利，只要使用本书中的方法，每个开发人员都能写出交互性良好、高效、可靠的并发程序。

本书的特色

本书全面讲解 C# 并发编程技术，侧重于 .NET 平台上较新、较实用的方法。全书分为几大

部分：首先介绍几种并发编程技术，包括异步编程、并行编程、TPL 数据流、响应式编程等；然后是一些重要的知识点，包括测试技巧、互操作、取消并发、函数式编程与 OOP、同步、调度等；最后介绍了几个实用技巧。书中包含 70 多个配有源码的实用方法，可用于服务器程序、桌面程序和移动端应用的开发。

本书填补了一个市场空白：它是一本用最新方法进行并发编程的入门指引和参考书。

本书作者 Stephen Cleary 是美国著名的软件开发者和技术书作家、C# MVP，在 C#/C++/JavaScript 等方面均有丰富的经验。我非常有幸能翻译他的著作。

翻译中的一点感受

过去的十多年我一直在从事软件开发和设计工作。相信国内很多开发人员都和我一样，心中存在着一个疑惑：我国的软件人员很多（绝对数量不会比美国少），但为什么软件技术总体上落后欧美国家那么多？确定翻译《C# 并发编程经典实例》这本书后，我一边仔细阅读原书，一边遵循作者的思路，逐渐发现作者思考问题的一个理念。这就是按软件的不同层次进行明确分工，我只负责我所实现的这个层次，底层技术是为上层服务的，我只负责选择和调用，不管内部的实现过程；同样，我负责的层次为更高一层的软件提供服务，供上层调用，也不需要上层关心我的内部实现。

由此想到，这正好反映出国内开发人员中的一个通病，即分工不够细、技术关注不够精。很多公司和团队在开发时都喜欢大包大揽，从底层到应用层全部自己实现；很多开发人员也热衷于“大而全”地学习技术，试图掌握软件开发中的各种技术，而不是精通某一方面。甚至流行这样一种观点，实现底层软件、写驱动的才是高级开发人员，做上层应用的人仅仅是“码农”。本书作者明确地反对了这种看法，书中强调如何利用好现成的库，而不是全部采用底层技术自己实现。利用现成的库开发出高质量的软件，对技术能力的考验并不低于开发底层库。

感谢

在本书的翻译过程中，得到了图灵公司李松峰老师的支持和帮助，在此表示感谢。由于本人水平有限，书中难免有疏忽和错误，恳请读者朋友们批评指正。

2014 年 10 月于深圳

前言

我觉得封面上的动物（麝香猫）能体现出本书的主题。在看到这个封面之前，我对这种动物一无所知，因此特意查了一下。麝香猫会在天花板和阁楼上随处便溺，并且在最不合时宜的情况下互相打斗发出很大的噪音，因此被认为是一种害兽。它们肛门处的气味腺会分泌一种令人作呕的分泌物。在动物保护分类中，麝香猫属于“无危物种”，这相当于说“人们可以随意捕杀，没人会在乎”。麝香猫喜欢吃咖啡果，并且吃完咖啡豆之后不消化，又排泄出来。世界上最贵的咖啡之一——猫屎咖啡，就是用麝香猫排泄出的咖啡豆制造的。美国特种咖啡协会称“这种咖啡味道好极了”。

这些特征使麝香猫成为代表并发和多线程开发的完美吉祥物。软件开发新手会非常讨厌并发和多线程，它们会让原本整洁的代码变得乱七八糟。竞态条件（race condition）和其他莫名其妙的原因会导致程序严重崩溃（经常在实际产品或演示程序中出现）。有些人甚至声称“多线程是魔鬼”，并且完全不使用并发编程。有少数开发人员已经对并发编程产生兴趣，并毫不畏惧地使用它。但大多数开发人员曾被并发编程搞晕，并且留下了不好的印象。

然而，并发性正在成为现代程序的一个必备特性。今天的软件用户要求程序界面在任何时候都不能停止响应；另外，服务器应用的规模变得越来越大。并发编程顺应了这两种变化趋势。

幸好，已经有很多现代的程序库，使并发编程变得比以前简单多了！并行处理和异步开发，不再是高手们的专利。这些程序库使用更高层次的抽象化，让每一个开发人员都能开发出具有很好的响应性和可扩展性的程序。如果在并发编程还非常困难的时候你曾经感到困惑，我建议你用现代工具重新试一下。我们不能说并发编程很容易，但确实不像以前那么难了。

本书读者对象

本书面向希望学习最新并发编程方法的开发人员。你需要熟练掌握 .NET 开发，包括泛型集合（generic collection）、枚举（enumerable）和 LINQ。你不需要具备任何多线程或异步

开发的知识。本书介绍新的、更安全、更易使用的程序库，因此如果你已有这方面的经验，读这本书也会有所帮助。

并发编程适用于所有程序。不管是桌面程序、移动应用还是服务器应用，现在并发性几乎是所有程序的必备特性。利用本书提供的方法，可以提高用户界面的响应速度和服务器应用的可扩展性。现在，并发编程已经非常普遍，对一个专业开发人员来说，掌握并使用有关技术非常必要。

本书写作初衷

在我职业生涯的早期，我费了很大力气学习多线程开发。几年后，我又费了很大力气学习异步开发。尽管那些经验很有价值，但我仍然很希望当时就能有今天的工具和资源。尤其是现在的 .NET 语言对 `async` 和 `await` 的支持，实在太棒了。

然而，现在大多数介绍并发编程的图书和资料都是从最底层概念开始讲起。那些书用大量篇幅讲解有关多线程和序列化的基本概念，并且把较高级的技术内容放到最后。我觉得这么做的原因有两个。首先，很多像我这样的并发编程开发人员确实是从底层技术学起，费劲地学习这些老技术。其次，很多书是多年前出版的，现在出现了新技术，改版时就把新技术的内容放到书的末尾。

我觉得那种做法有些落伍。本书只介绍进行并发编程的最新方法。这并不是说，理解全部底层概念没用。我进入大学学习编程时，有一门课程需要利用少量的门电路来组建一个虚拟的 CPU，另一门课程则需要用汇编语言进行开发。在我的职业生涯里，从来没有设计过 CPU，也很少写汇编程序，但是理解那些基础知识对我的日常工作仍然很有帮助。但最好是从更高级的抽象概念开始学习，我学的第一种编程语言也不是汇编语言。

本书填补了一项市场空白：它是一本用最新方法进行并发编程的入门指引和参考书。本书包含了几种类型的并发编程，包括并行、异步和响应式编程（reactive programming）。至于并发编程的老技术，有关图书和网上资料有很多，本书不再介绍。

内容速览

本书既是一本入门指引，也是一本快捷参考书。全书分为几个部分。

- 第 1 章，简要介绍本书涉及的几种并发编程类型：并行、异步、响应式编程以及数据流。
- 第 2 章至第 5 章，更详细地介绍这几种并发编程类型。
- 其余章节，分别讲解并发编程的各个方面，也可作为解决常见问题时的参考书。

即使你已经熟悉某些类型的并发编程，建议你还是要读第 1 章，至少略读一下。

网上资料

本书较全面地介绍了几种并发编程类型，尽可能包含所有相关知识点，但不管怎样，一本书无法包罗万象。要更全面地了解并发编程相关技术，推荐学习下面的资料。

并行编程方面，推荐阅读 *Parallel Programming with Microsoft .NET*（Microsoft Press），英文原书电子版可以从网上下载。可惜这本书的内容有点过时了。例如，“future 模式”部分应该改用异步编程，“流水线”（pipeline）部分应该改用任务 TPL 数据流。

异步编程方面，推荐阅读 MSDN，特别是“Task-based Asynchronous Pattern”这篇文档。

TPL 数据流方面，推荐阅读微软发布的“Introduction to TPL Dataflow”文档。

网络上，响应式扩展（Rx）程序库越来越流行了，并且它本身还在继续发展。在我看来，学习 Rx 最好的资料是 Lee Campbell 写的 *Introduction to Rx*。

排版规范

本书使用了以下排版规范。

- 楷体
  用于表示新术语。
- 等宽字体
  用于表示程序代码，或者段落中提及的代码元素（变量名、函数名、数据库、数据类型、环境变量、程序语句、关键字）。
- 等宽粗体
  表示需要用户逐字输入的命令或者其他文本。
- 等宽斜体
  表示需要根据用户提供的内容，或者根据上下文替换掉的文字。

这个图标表示提示、建议或注解。

这个图标表示警告或提醒。

Safari® Books Online

Safari Books Online（http://www.safaribooksonline.com）是应需而变的数字图书馆。它同时以图书和视频的形式出版世界顶级技术和商务作家的专业作品。

Safari Books Online 是技术专家、软件开发人员、Web 设计师、商务人士和创意人士开展调研、解决问题、学习和认证培训的第一手资料。

对于组织团体、政府机构和个人，Safari Books Online 提供各种产品组合和灵活的定价策略。用户可通过一个功能完备的数据库检索系统访问 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 以及其他几十家出版社的上千种图书、培训视频和正式出版之前的书稿。要了解 Safari Books Online 的更多信息，我们网上见。

联系我们

请把对本书的评价和问题发给出版社。

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

O'Reilly 的每一本书都有专属网页，你可以在那儿找到本书的相关信息，包括勘误表、示例代码以及其他信息。本书的网站地址是：

http://shop.oreilly.com/product/0636920030171.do

对于本书的评论和技术性问题，请发送电子邮件到：

bookquestions@oreilly.com

要了解更多 O'Reilly 图书、培训课程、会议和新闻的信息，请访问以下网站：

http://www.oreilly.com

我们在 Facebook 的地址如下：http://facebook.com/oreilly

请关注我们的 Twitter 动态：http://twitter.com/oreillymedia

我们的 YouTube 视频地址如下：http://www.youtube.com/oreillymedia

致谢

本书的出版离不开很多人的帮助。

首先，我要感谢上帝和救世主耶稣基督。成为基督徒是我此生最重要的决定！如果你想了解这方面的更多信息，欢迎通过我的个人网站（http://stephencleary.com）联系我。

其次，我要感谢我的家人，感谢他们容许我拿出那么多本该陪伴他们的时间写书。开始动笔时，有从事写作的朋友告诉我："你将有一年的时间无法陪伴家人！"当时我还以为他们是在开玩笑。我白天工作，晚上和周末用来写作，对此我的妻子 Mandy、孩子 SD 和 Emma 都非常理解。太感谢你们了，我爱你们！

当然，下面这些人极大地提高了本书质量：编辑 Brian MacDonald、技术评审 Stephen Toub、Petr Onderka（"svick"）和 Nick Paldino（"casperOne"）。如果书中有错误，那全是他们的责任。开个玩笑！他们对内容的调整和修改非常有价值，如果书中还有错误，当然是我自己的责任。

最后，我要感谢 Stephen Toub、Lucian Wischik、Thomas Levesque 和 Lee Campbell，我是从他们那里学到的有关技术。他们是 Stack Overflow 和 MSDN 论坛的成员，也是我的家乡密歇根州及周边地区软件研讨会的参与者。我有幸成为软件开发社区的一员，如果这本书具有一些价值，那只是因为那么多人给我指明方向。感谢大家！

目录

第1章

并发编程概述

优秀软件的一个关键特征就是具有并发性。过去的几十年，我们可以进行并发编程，但是难度很大。以前，并发性软件的编写、调试和维护都很难，这导致很多开发人员为图省事放弃了并发编程。新版 .NET 中的程序库和语言特征，已经让并发编程变得简单多了。随着 Visual Studio 2012 的发布，微软明显降低了并发编程的门槛。以前只有专家才能做并发编程，而今天，每一个开发人员都能够（而且应该）接受并发编程。

1.1 并发编程简介

首先，我来解释几个贯穿本书始终的术语。先来介绍*并发*。

- *并发*
  同时做多件事情。

这个解释直接表明了并发的作用。终端用户程序利用并发功能，在输入数据库的同时响应用户输入。服务器应用利用并发，在处理第一个请求的同时响应第二个请求。只要你希望程序同时做多件事情，你就需要并发。几乎每个软件程序都会受益于并发。

在编写本书时（2014 年），大多数开发人员一看到“并发”就会想到“多线程”。对这两个概念，需要做一下区分。

- *多线程*
  并发的一种形式，它采用多个线程来执行程序。