

Owen Jones, Robert Maillardet, Andrew Robinson

R 语言的 科学编程与仿真

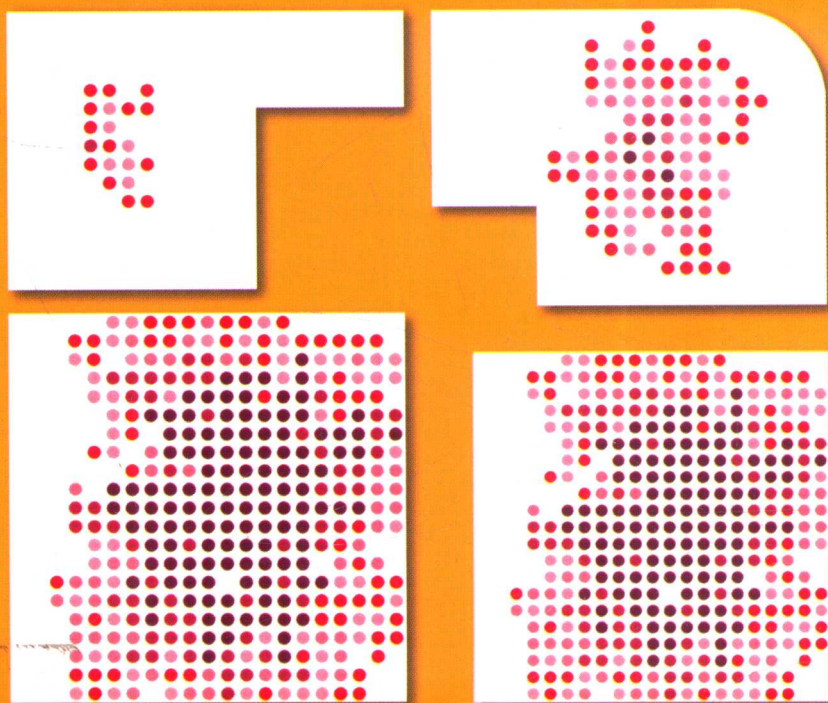
Introduction to Scientific
Programming and
Simulation Using R

欧文·琼斯

〔澳〕 罗伯特·梅拉德特 著
安德鲁·鲁宾逊

王 亮 周丙常(西北工业大学)

王 亮(西安电子科技大学) 译



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

R语言应用系列

Introduction to Scientific Programming and Simulation Using R

R 语言的科学编程与仿真

欧文·琼斯

Owen Jones

〔澳〕 罗伯特·梅拉德特 著

Robert Maillardet

安德鲁·鲁宾逊

Andrew Robinson



王 亮 周丙常(西北工业大学) 译
王 亮 (西安电子科技大学)



西安交通大学出版社

Xi'an Jiaotong University Press

Introduction to Scientific programming and Simulation Using R

Owen Jones, Robert Maillardet, and Andrew Robinson

ISBN: 978 - 1 - 4200 - 6872 - 6

Copyright©2011 by Taylor & Francis Group, LLC

Chapman & Hall/CRC is an imprint of Taylor & Francis Group, an informa business.

All rights reserved. This translation published under license.

本书中文简体字版由泰勒·弗朗西斯集团有限责任公司授权西安交通大学出版社独家出版发行并限在中国大陆地区销售。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签,无标签者不得销售。

陕西省版权局著作权合同登记号 图字 25 - 2012 - 006 号

图书在版编目(CIP)数据

R 语言的科学编程与仿真/(澳)琼斯(Jones,O.), (澳)梅拉德特(Maillardet,R.), (澳)鲁宾逊(Robinson,A.)著;王亮,周丙常,王亮译. —西安:西安交通大学出版社,2014.9

书名原文:Introduction to scientific programming and simulation using R

ISBN 978 - 7 - 5605 - 6242 - 1

I. ①R… II. ①琼…②梅…③鲁…④王…⑤周…
⑥王… III. ①程序语言-程序设计 IV. ①TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 103611 号

书 名	R 语言的科学编程与仿真
著 者	[澳]欧文·琼斯, 罗伯特·梅拉德特, 安德鲁·鲁宾逊
译 者	王 亮 周丙常 王 亮
责任编辑	李 颖

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)

传 真 (029)82668280
印 刷 陕西宝石兰印务有限责任公司

开 本	720mm×1000mm	1/16	印张 27.5
印 数	0001~3000 册		字数 654 千字
版次	2014 年 12 月第 1 版	2014 年 12 月第 1 次印刷	
书 号	ISBN 978 - 7 - 5605 - 6242 - 1/TP · 622		
定 价	73.00 元		

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82665397

读者信箱:banquan1809@126.com

版权所有 侵权必究

译者序

两年前,当我接下这项翻译任务的时候,心里非常的忐忑不安。生怕由于自己能力不足,无法将澳大利亚墨尔本大学三位老师的这本心血之作完美地展示给中国读者;辜负了三位老师的期待;耽误了中文读者的学习。不过,也正是因为如此,更坚定了我要将这本书做好的决心,虽然我知道要将这么一本完美著作的灵魂与精髓彻底用中文表述出来是十分困难的事情,但是,我仍决定以自己的最大努力将她诠释之后呈现在中文读者的眼前。因为,多次参加国际会议的经历,以及 2013—2014 年我在美国伊利诺伊理工大学的学习,都让我深深认识到 R 作为一门新兴的语言具有多么广泛的应用前景,国际上对其的使用已然常态化,而国内此类的图书却异常有限,与编程和仿真结合紧密的相关著作更是稀少,因此,能有这么一个将国外该领域优秀著作带给国内读者的机会是非常鼓舞人心的,也是十分难得的。与此同时,我们(周丙常和我)合作翻译的上一本 R 语言图书(《R 语言初学者指南》)取得了非常不错的销售成绩,也得到了诸多读者的好评,这进一步增强了我们将这本书做成、做好、做精的信心。

编程与仿真一直以来是数学、统计、工程等学科处理问题的重要手段与途径,在计算机技术快速发展的今天,借助计算机解决一些理论上难以处理或者是根本处理不了的问题已经成为大家的共识。要借此手段将问题处理好,一来需要合理的算法和理论,二来需要恰当的载体。本书以 R 语言,这种近年来愈衍愈热的语言为载体,系统地讲述了如何在 R 的环境下进行编程、仿真等问题,将经典的处理问题的方法与充满朝气的新生平台相结合,让读者感觉似乎是几位久别重逢的老朋友,又带回了几位生气勃勃的新朋友。这样的组合使读者能更加坦然并深刻地了解认识这些新朋友,从而更容易接受他们,使其与这些老朋友一起在自己身上发光、闪亮。

全书包含四部分内容:第一部分讲述了 R 语言的基本知识以及相关的编

程方法;第二部分讲述了一些经典的数值计算方法在R中的实现;第三部分讲述了R环境下概率统计上的一些概念的仿真;第四部分介绍了随机建模与仿真,并给出了几个案例分析。全书的学习仅需要一些高等数学、概率论与数理统计的知识即可,并不需要过多的程序设计知识。本书可作为理工科,特别是数学、统计、经济等方向的本科二年级以上或者研究生的教材,也可供有相关需要的读者自学。

参与本书翻译工作的有西北工业大学的王亮老师和周丙常老师,西安电子科技大学的王亮老师。全书共分四大部分22章,其中前言和1、2、9、10~12章以及附录等内容由西北工业大学王亮老师翻译;3、4、13~19章由周丙常老师翻译;5~8、20~22章由西安电子科技大学王亮老师翻译。西北工业大学应用数学系的岳晓乐、张莹、都琳、贾万涛老师对全文给出了一些中肯的指正意见,孙春艳、李超、郝孟丽、何美娟、杨贵东、韩群博士,靳丽民、王德莉、鲁捧菊硕士参与了书中程序的验证工作,统稿工作由西北工业大学王亮老师负责。在此,除了感谢各位译者的辛苦工作之外,也要感谢西安交通大学出版社和李颖编辑对于本书出版所做的策划、编校等工作,以及所有为本书出版做出奉献的人,没有大家的通力合作与努力,就不会有本书的顺利出版。同时我们结合作者主页 <http://www.ms.unimelb.edu.au/~odj/> 给出的勘误,已在译文中就一些问题予以纠正。为了提升本书的可读性,翻译及编辑过程在尊重原书的基础上,同时尽量符合中文的叙述与语法习惯,然而由于译者水平有限,难免有不妥与错误之处,在此向读者致歉的同时,恳请得到大家的不吝赐教并批评指正。

西北工业大学 王亮

liangwang 1129@nwpu.edu.cn

2014年11月于西安

前 言

这本书有两个主要的目标：对科学编程的讲解和对随机建模的介绍。由于科学编程中的数值方法使利用数学模型处理实际问题变成一种可能，因此，数学建模、尤其是随机建模与科学编程具有紧密的内在联系。本书中有关随机建模与仿真的数值方法将指导我们如何分析一些棘手的建模问题。

此外，仿真还是一种我们已知的进行统计判断最好的方法。

本书假定用户已经完成了或者正在进行大学第一年微积分课程的学习。本书中涉及到的相关知识比较适合于理科/工程/商贸专业的本科一二年级学生，以及一些应用领域中硕士水平的学生。对于本书的学习并非特别需要编程及概率的一些前期知识。

针对比较强调仿真应用的一些概率课程，本书可以作为入门的课程来学习。现代应用概率论和统计学是比较强调数值分析的，此书中我们从一开始就将编程与概率论的知识进行了有机的结合。

我们之所以选择 R 语言作为编程的工具，是因为其具有一些与众不同的特点。在 R 的执行过程中，我们并不详细介绍相关的统计分析方法（虽然有些方法被公认为是相当漂亮的），而是重点讲述如何将算法转换为相应的代码。我们潜在的读者群应该是那些想要编写工具的人，而不仅仅是使用工具的人。

作为本书的补充内容，程序包 **spuRs** 包含了我们所需要使用的大部分代码和数据。在第 1 章中我们讲述了如何安装这个程序包。在书的最后我们还给出了文中涉及到的程序名索引以及 R 命令术语表。

课程结构设置

这本书的内容对于第一年的课程学习来说可能有些过多，其包括课堂授课 36 次，一小时专题辅导 12 次，两小时实验课 12 次。然而，由于本书包含的内容对于任何具体课程来说都是足够的，因此，我们可以根据不同的课程结构来选择相应的内容，或者根据不同的需求来选择对应的知识。我们发现实验

课教学是非常重要的,这是由于在实验课上学生可以通过具体的实验过程来学习如何编程。因而,教师可以直接使用文中给出的大量示例和习题来让学生进行实验课程的学习,这些示例和习题是第22章编程设计的一个补充,其都是基于我们给学生布置的课外作业。

核心内容 接下来的这些章节包含了我们对于科学编程与仿真课程的核心知识。

第Ⅰ部分:R的核心知识以及编程的基本概念。见1~6章。

第Ⅱ部分:从数值角度来思考数学:使用第一部分中的概念来实现求根和数值积分。见9~11章。

第Ⅲ部分:通过概率论、随机变量和数学期望的基本知识来理解仿真。13~15章讲述了均匀分布。

第Ⅳ部分:随机建模与仿真:随机数生成、蒙特卡洛积分法、案例研究。见18.1~18.2章节,19章,21.1~21.2章节,22章。

其他有关随机方面的知识内容 上述这些核心知识仅仅涉及到了离散型随机变量,对于估计方面只是使用了样本均值收敛于总体均值的概念。16章和17章增加了一些连续型随机变量、中心极限定理和置信区间的内容。18.3~18.5节以及20章介绍了一些有关模拟连续型随机变量以及方差缩减的知识。在对连续型随机变量有了一些了解之后,我们在21.3~21.4节中给出了一些较容易理解的相关案例。

需要注意的是,在22章中所提到的一些使用连续型随机变量的示例是可以很容易使用离散型随机变量来替代的。

其他有关编程和数值分析方面的知识 核心内容中给出的有关基本绘图的内容是完全足够的,但是,如果要绘制更加专业的图形,就需要参考第7章了。有关更深层次的编程问题,第8章起到了桥梁的作用,这对于想编写更完美程序的读者是非常有用的。

第12章介绍的是有关单变量和多变量的最优化问题。12.3~12.7节主要讲述的是多变量的最优化问题,这一部分的内容要比其他部分难一些,需要读者相当熟悉向量的微积分知识。除了示例17.1.2之外,这一部分的知识是比较独立的,使用 `optim` 函数就可以了。然而,如果你想像使用黑匣子那样使用 `optim` 函数,这个示例也是比较容易理解的,而不需要专门学习有关多变量

最优化的相关知识。

章节概要

1:安装。这一章主要介绍如何获取并安装 R,并且给出本书的补充知识 `spuRs` 程序包。

2:基于 R 的计算环境。这一章将介绍如何使用 R 进行算术计算;创建并控制变量、向量和矩阵;进行逻辑运算;调用 R 的内部函数并获得相关帮助信息;了解工作空间。

3:编程基础。这一章将介绍一系列构成各种程序的基础编程模块。其中某些结构在各种程序设计语言中都是相同的,例如 `if`, `for` 和 `while` 语句。而还有一些方面却是与众不同的,例如针对向量的编程,这些不同主要是由于考虑到 R 代码的效率所确定的。

4:输入与输出。这一章主要介绍一些 R 提供的将数据输入进行分析和输出或存储结果的基本知识。其中,第 6 章对如何导入数据进行了详细的介绍,第 7 章对于绘图进行了详细的介绍。

5:函数化编程。这一章是对第 3 章相应内容的补充,涉及到了用户自定义函数。具体的内容包括如何创建函数,创建函数应遵守的法则,如何在某种工作环境中调用函数等。我们同样还介绍了一些创建函数的小技巧,以及在 R 中如何使用这些技巧。

6:复杂数据结构。这一章中将介绍 R 中一些较复杂的数据结构——列表与数据框,它们可以简化数据的表示法、操作以及分析。数据框有点像矩阵,但是其允许在不同的列中有不同的数据模式,列表是一种普通的数据存储对象,其几乎覆盖了各种类型的 R 对象。此外,我们还介绍了因子,其作用是表示分类对象。

7:绘图。在第 4 章的基础上,本章对 R 的绘图能力进行了更深入的阐释。我们介绍了默认绘图功能的各方面知识,还探讨了如何通过绘图参数来调整图形并在一页中绘制多个图形。并且展示了如何将图形存储为各种不同的格式。最后,我们给出了可以表示多维数据(格图)和 3D 图形的一些绘图工具。

8:R 语言高级编程技术。这一章中简要提及了一些 R 语言中的高级编程思想。主要介绍了程序包的管理及交互使用,并给出了 R 管理我们在工作空间中创建的对象以及我们所运行函数的一些细节信息。此外,还对如何调试所编写函数提供了一些建议。

最后,提供了 R 作为一种面向对象的程序设计语言的一些基础信息,例如,执行由其他计算机语言,譬如 C,所编译的代码。

9:数值精度与程序的效率。在这一章中,我们将从细节角度考虑计算机的操作及编程问题,特别是针对 R 语言。我们主要考虑计算机如何表示数字,以及表示精度对于计算结果的影响。还涉及计算机执行计算所需的时间,及如何从编程技术角度减少计算所需的时间。最后,我们考虑了计算机内存因素对于计算效率的影响问题。

10:求根。这一章主要介绍了一系列不同的求根方法。包括了不动点迭代法,牛顿-拉富生算法,割线法和二分法。

11:数值积分。这一章将介绍数值积分的相关知识。对于积分而言,一个主要的问题是显示的原函数不一定存在。在这种情况下,我们就可以试着使用计算方法的手段来得到积分的近似解。本章主要涉及了梯形积分法,辛普森积分法和自适应积分法。

12:最优化。这一章讲述的主要问题是求解某些函数可能存在的最大值或者最小值。对于一元函数我们主要介绍了牛顿法和黄金分割法,对于多元函数我们主要介绍了最速上升/下降法和牛顿法。此外,我们还进一步提供了一些 R 中常用的最优化工具的信息。

13:概率。为了更准确地描述客观世界,这一章将讲述一些数学概率的知识,它考虑的主要是如何描述和研究不确定性问题。我们在此将讲述概率公理化和条件概率,此外,我们还将讲述全概率公式,其可以将复杂的概率问题分解为易于处理的简单问题;并且讲述贝叶斯理论,其将以一种非常有用的方式来处理有关条件概率的问题。

14:随机变量。这一章中介绍随机变量的相关概念。我们将分别给出离散型和连续型随机变量的定义,并讲述各种用来描述它们分布的方法,包括分布函数、概率累积函数和概率密度函数。我们还将给出数学期望、方差、独立性和协方差的定义。此外,本章还将给出随机变量变换的相关知识,并将得到弱大数定理。

15:离散型随机变量。这一章中将主要介绍一些相对重要的离散型随机变量,以及 R 中与其相关的一些函数。内容包括了伯努利分布、二项分布、几何分布、负二项分布和泊松分布。

16:连续型随机变量。这一章将介绍一些连续型随机变量的理论、应用及

其在 R 中的表示。包括均匀分布、指数分布、威布尔分布、伽玛分布、正态分布、 χ^2 分布和 t 分布。

17: 参数估计。这一章主要讲述点估计和区间估计。我们将分别介绍中心极限定理、正态近似、渐近置信区间和蒙特卡洛置信区间。

18: 模拟。在这一章中我们将分别讲述如何模拟均匀分布随机变量和离散型随机变量,并给出如何使用逆变换方法和拒绝法来模拟连续型随机变量。此外,我们还将介绍一些模拟正态随机变量的方法。

19: 蒙特卡洛积分。这一章将介绍一些基于模拟进行积分的方法。内容包括投点法和更高效的蒙特卡洛积分法。此外,本章还将比较这两种方法与第 11 章讲述的梯形法和辛普森方法在收敛速度上的一些不同结果。

20: 方差缩减。这一章将讲述一些有关估计问题中抽样的新方法。内容包括对立抽样法、控制变量和重要抽样法。这些方法在实际应用中可以极大地提高模拟的效率。

21: 案例研究。这一章中我们将给出三个具体的案例,分别是流行病问题、库存问题和种子传播问题(包括面向对象的编码的应用)。这些案例的主要目的还是阐述如何使用数值模拟方法。

22: 案例选讲。这一章给出了一系列可以由学生来处理的问题。它们与上一章的例子比起来都比较简单,但是比每一章的课后题又更有意思。

参考文献/补充书目

如果你还想进一步学习一些有关科学编程与数值仿真的知识,本书作者在这里提供了一些比较有用的书籍。

R 语言

W. N. Venables and B. D. Ripley, *S Programming*. Springer, 2000.

W. N. Venables and B. D. Ripley, *Modern Applied Statistics with S, Fourth Edition*. Springer, 2002.

J. M. Chambers and T. J. Hastie (Editors), *Statistical Models in S*. Brooks/Cole, 1992.

J. Maindonald and J. Braun, *Data Analysis and Graphics Using R: An Example-Based Approach, Second Edition*. Cambridge University Press, 2006.

科学编程/数值方法

W. Cheney and D. Kincaid, *Numerical Mathematics And Computing*, Sixth Edition. Brooks/Cole, 2008.

M. T. Heath, *Scientific Computing: An Introductory Survey*, Second Edition. McGraw-Hill, 2002.

W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling and B. P. Flannery, *Numerical Recipes*, 3rd Edition: *The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press, 2007.

C. B. Moler, *Numerical Computing with Matlab*, Society for Industrial Mathematics, 2004.

随机建模与仿真

A. M. Law and W. D. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, Third Edition. McGraw-Hill, 1999.

M. Pidd, *Computer Simulation in Management Science*, Fifth Edition. Wiley, 2004.

S. M. Ross, *Applied Probability Models with Optimization Applications*. Dover, 1992.

D. L. Minh, *Applied Probability Models*. Brooks/Cole, 2001.

几点说明

R 在不断的更新中。每一年程序员都会推出或多或少的新版本,这些新版本涉及到很多对于前文的更新和更改,其中大多数是比较微小的,当然,也有一些是比较大的改变。然而,这些新版本并不完全保证是向下兼容的,因此,新版本有可能破坏原工作环境中某些代码的原功能。

例如,在我们书写这本书的过程中,R 的版本从 2.7.1 升级到了 2.8.0,而新版本与旧版本对于函数 `var` 的默认返回值是不同的,若输入中出现 `NA`,旧版本将报错,而新版本将返回 `NA`。值得庆幸的是,我们有充分的时间对这种情况做出明确的说明。

我们对 R 的所有更新做了总结,并且指明本书是与 2.8.0 版本配套的。`spuRs` 程序包中将给出具体的勘误表。

致谢

本书的大部分内容都是基于前两位作者在墨尔本大学的课程来编写的。这门课程已经持续了很多年,我们要特别感谢这些前期授课教师为本书奠定的基础结构,特别是史蒂夫·卡妮和查克·米勒。我们同样要感谢本书的校对员和审稿人:迦得·亚伯拉罕、保罗·布莱克威尔、史蒂夫·卡妮、阿兰·琼斯、大卫·罗尔斯,尤其是菲尔·斯佩克特。奥尔加·博洛夫科娃(Borovkova)和约翰·梅因唐纳德分别在编码问题和 **playwith** 程序包问题中给予了诸多帮助,在此表示衷心感谢。

我们还要感谢在为编写本书提供工具方面做出贡献和成绩的团体,他们使得本书能够顺利出版。在此特别感谢为 R 核心做出贡献的 LATEX 社区,GNU 团体和为 **Sweave** 提供帮助的弗里德里希·莱切(Leisch)。

当然,没有我们的合作伙伴这本书也是无法完成的,这些合作伙伴有夏洛特、黛博拉和格瑞斯,以及我们可爱的孩子们尹定格(Indigo)、西蒙妮、安德烈和菲力克斯。

ODJ, 欧文·琼斯

RJM, 罗伯特·梅拉德特

APR, 安德鲁·鲁宾逊

2008 年 10 月

目 录

译者序

前言

第 I 部分 编 程

第 1 章 安装	(3)
1.1 R 的安装	(3)
1.2 R 的启动	(3)
1.3 工作目录	(4)
1.4 书写脚本	(5)
1.5 帮助	(5)
1.6 辅助材料	(6)
第 2 章 基于 R 的计算环境	(10)
2.1 算术	(10)
2.2 变量	(11)
2.3 函数	(13)
2.4 向量	(14)
2.5 缺失数据	(18)
2.6 表达式及其赋值	(19)
2.7 逻辑表达式	(20)
2.8 矩阵	(22)
2.9 工作空间	(25)
2.10 习题	(26)
第 3 章 编程基础	(28)
3.1 引言	(28)
3.2 if 分支	(30)
3.3 for 循环	(32)
3.4 while 循环	(35)

3.5	向量化编程	(37)
3.6	程序流程	(38)
3.7	基础调试	(40)
3.8	良好的编程习惯	(41)
3.9	习题	(41)
第4章	输入和输出	(46)
4.1	文本	(46)
4.2	从文件输入	(48)
4.3	从键盘输入	(50)
4.4	输出到文件	(51)
4.5	绘图	(53)
4.6	习题	(55)
第5章	函数化编程	(58)
5.1	函数	(58)
5.2	范围及其影响	(63)
5.3	可选参数和缺省值	(65)
5.4	基于向量形式的函数编程	(65)
5.5	循环程序	(68)
5.6	调试函数	(70)
5.7	习题	(72)
第6章	复杂数据结构	(79)
6.1	因子	(79)
6.2	数据框	(82)
6.3	列表	(88)
6.4	apply 命令族	(92)
6.5	习题	(99)
第7章	绘图	(102)
7.1	引言	(102)
7.2	图形参数: par	(104)
7.3	图形扩展	(106)
7.4	数学排版	(108)
7.5	产生永久图形	(110)
7.6	群组制图:格的使用	(111)
7.7	3D 制图	(115)
7.8	习题	(116)

第 8 章 R 语言高级编程技术	(119)
8.1 程序包	(119)
8.2 框架和环境	(124)
8.3 程序调试	(126)
8.4 面向对象程序设计:S3	(128)
8.5 面向对象程序设计:S4	(132)
8.6 编译代码	(135)
8.7 扩展阅读	(137)
8.8 习题	(137)

第 II 部分 数值技术

第 9 章 数值精度与程序的效率	(141)
9.1 数字的机器表示	(141)
9.2 有效数字	(144)
9.3 时间	(146)
9.4 循环和向量	(148)
9.5 存储器	(150)
9.6 警告	(151)
9.7 习题	(152)
第 10 章 求根	(155)
10.1 引言	(155)
10.2 不动点迭代法	(156)
10.3 牛顿-拉富生算法	(161)
10.4 割线法	(164)
10.5 二分法	(165)
10.6 习题	(168)
第 11 章 数值积分	(175)
11.1 梯形积分法	(176)
11.2 辛普森积分法	(177)
11.3 自适应积分法	(182)
11.4 习题	(186)
第 12 章 最优化	(189)
12.1 牛顿最优化方法	(190)
12.2 黄金分割法	(192)
12.3 多元最优化	(195)

12.4	最速上升法	(196)
12.5	多维情形下的牛顿法	(201)
12.6	R 中的最优化及其相关延伸问题	(205)
12.7	一个曲线拟合的例子	(206)
12.8	习题	(208)

第Ⅲ部分 概率与统计

第 13 章	概率	(215)
13.1	概率公理	(215)
13.2	条件概率	(218)
13.3	独立性	(220)
13.4	全概率公式	(221)
13.5	贝叶斯定理	(221)
13.6	习题	(223)
第 14 章	随机变量	(227)
14.1	分布函数的定义	(227)
14.2	离散型和连续型随机变量	(228)
14.3	经验分布函数和直方图	(230)
14.4	期望和有限近似	(232)
14.5	变换	(236)
14.6	方差和标准差	(240)
14.7	弱大数定理	(242)
14.8	习题	(245)
第 15 章	离散型随机变量	(251)
15.1	R 里的离散型随机变量	(251)
15.2	伯努利分布	(252)
15.3	二项分布	(252)
15.4	几何分布	(254)
15.5	负二项分布	(256)
15.6	泊松分布	(258)
15.7	习题	(261)
第 16 章	连续型随机变量	(263)
16.1	R 里的连续型随机变量	(263)
16.2	均匀分布	(264)
16.3	寿命模型:指数和威布尔	(264)

16.4	泊松过程和伽玛分布	(268)
16.5	抽样分布:正态、 χ^2 和 t	(273)
16.6	习题	(278)
第 17 章	参数估计	(282)
17.1	点估计	(282)
17.2	中心极限定理	(288)
17.3	置信区间	(292)
17.4	蒙特卡洛置信区间	(299)
17.5	习题	(300)

第Ⅳ部分 模 拟

第 18 章	模拟	(307)
18.1	模拟独立同分布的均匀分布随机样本	(307)
18.2	离散型随机变量的模拟	(309)
18.3	连续型随机变量的逆变换法	(314)
18.4	连续型随机变量的拒绝法	(316)
18.5	正态分布的模拟	(321)
18.6	习题	(324)
第 19 章	蒙特卡洛积分	(329)
19.1	投点法	(329)
19.2	(改进的)蒙特卡洛积分	(332)
19.3	习题	(334)
第 20 章	方差缩减	(336)
20.1	对立抽样法	(336)
20.2	重要抽样法	(340)
20.3	控制变量法	(344)
20.4	习题	(347)
第 21 章	案例研究	(349)
21.1	引言	(349)
21.2	流行病案例	(350)
21.3	库存问题	(362)
21.4	种子传播	(376)
第 22 章	案例选讲	(389)
22.1	水坝水位模型	(389)
22.2	轮盘赌问题	(392)