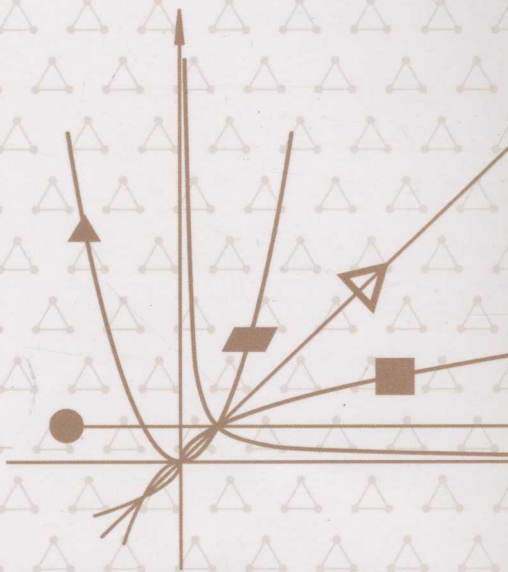




“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国科学技术大学  教材

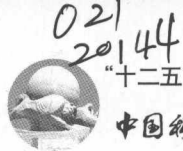


韦来生 张伟平 / 编著

贝叶斯分析

Bayesian Analysis

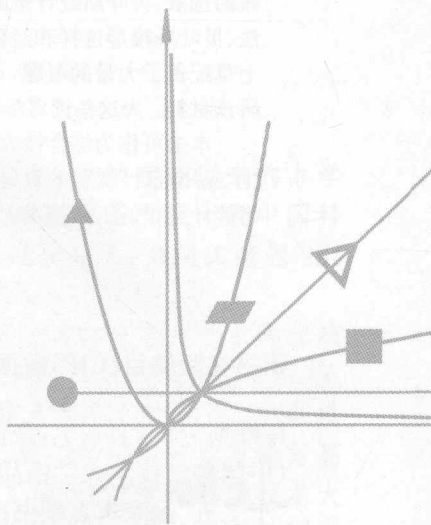
中国科学技术大学出版社



021
20144
“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国科学技术大学 **精品** 教材

阅 览



韦来生 张伟平 / 编著

Bayesian Analysis

贝叶斯分析

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书是供概率论与数理统计专业研究生使用的教材,内容包括绪论、先验分布的选取、贝叶斯统计推断、贝叶斯统计决策、贝叶斯计算方法、贝叶斯大样本方法、贝叶斯模型选择和经验贝叶斯方法等。本书内容新、概念清晰、应用性强,前七章配备了大量的习题,最后一章是为对经验贝叶斯方法感兴趣的读者准备的研读材料,为这些读者尽快进入这一研究领域提供帮助。

本书可作为综合性大学、理工科院校和师范院校概率论与数理统计专业研究生“应用统计”课程的教材或参考书,也可作为相关院校研究生、青年教师以及从事统计工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

贝叶斯分析/韦来生,张伟平编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2013.8
(中国科学技术大学精品教材)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-312-03217-2

I. 贝… II. ①韦… ②张… III. 贝叶斯理论—研究生—教材

IV. O21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 185903 号

中国科学技术大学出版社出版发行

安徽省合肥市金寨路 96 号,230026

<http://press.ustc.edu.cn>

安徽省瑞隆印务有限公司印刷

全国新华书店经销

开本:710 mm×960 mm 1/16 印张:24 插页:2 字数:470 千

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—3000 册

定价:42.00 元

总 序

2008年,为庆祝中国科学技术大学建校五十周年,反映建校以来的办学理念和特色,集中展示教材建设的成果,学校决定组织编写出版代表中国科学技术大学教学水平的精品教材系列.在各方的共同努力下,共组织选题281种,经过多轮、严格的评审,最后确定50种入选精品教材系列.

五十周年校庆精品教材系列于2008年9月纪念建校五十周年之际陆续出版,共出书50种,在学生、教师、校友以及高校同行中引起了很好的反响,并整体进入国家新闻出版总署的“十一五”国家重点图书出版规划.为继续鼓励教师积极开展教学研究与教学建设,结合自己的教学与科研积累编写高水平的教材,学校决定,将精品教材出版作为常规工作,以《中国科学技术大学精品教材》系列的形式长期出版,并设立专项基金给予支持.国家新闻出版总署也将该精品教材系列继续列入“十二五”国家重点图书出版规划.

1958年学校成立之时,教员大部分来自中国科学院的各个研究所.作为各个研究所的科研人员,他们到学校后保持了教学的同时又作研究的传统.同时,根据“全院办校,所系结合”的原则,科学院各个研究所在科研第一线工作的杰出科学家也参与学校的教学,为本科生授课,将最新的科研成果融入到教学中.虽然现在外界环境和内在条件都发生了很大变化,但学校以教学为主、教学与科研相结合的方针没有变.正因为坚持了科学与技术相结合、理论与实践相结合、教学与科研相结合的方针,并形成了优良的传统,才培养出了一批又一批高质量的人才.

学校非常重视基础课和专业基础课教学的传统,也是她特别成功的原因之一.当今社会,科技发展突飞猛进、科技成果日新月异,没有扎实的基础知识,很难在科学技术研究中作出重大贡献.建校之初,华罗庚、吴有训、严济慈等老一辈科学家、教育家就身体力行,亲自为本科生讲授基础课.他们以渊博的学识、精湛的讲课艺术、高尚的师德,带出一批又一批杰出的年轻教员,培养了一届又一届优秀学生.入选精品教材系列的绝大部分是基础课或专业基础课的教材,其作者大多直接或间接受到过这些老一辈科学家、教育

前 言

本书是在给中国科学技术大学概率论与数理统计专业研究生讲授“贝叶斯分析”课程讲稿的基础上完成的. 当时讲授的内容是书中的第 1~4 章以及第 5 章的部分内容. 作者对过去讲稿的内容作了适当的增补和调整, 第 6 章至第 8 章的内容是后加进去的.

本书同时具有教材和专著性质. 第 1~7 章可作为教材的内容, 第 8 章具有专著性质. 第 1 章是绪论, 介绍了贝叶斯分析的若干基本概念, 同时对必要的数理统计的基础知识有重点地作了回顾. 第 2 章介绍了确定先验分布的若干可供选择的方法. 第 3 章、第 4 章分别介绍了贝叶斯统计推断和贝叶斯统计决策. 第 5 章介绍了贝叶斯统计计算的若干方法, 包括蒙特卡洛方法、MCMC 方法以及统计软件的使用. 第 6 章介绍了贝叶斯大样本方法. 第 7 章介绍了贝叶斯模型选择的内容. 第 8 章介绍了参数型和非参数型经验贝叶斯方法及部分研究成果, 对这方面的研究工作感兴趣的读者了解这章的内容后, 可以较快地进入相关的研究领域.

本书的主要内容从 2004 年以来为中国科学技术大学概率论与数理统计专业研究生讲授过多次. 大约可在 54 学时内讲授本书第 1~5 章的主要内容, 第 6 章、第 7 章可根据实际情况选讲其中部分内容, 也可不讲. 第 8 章主要是供阅读的材料, 其中第 8 章 8.1 节可作为经验贝叶斯方法的简介. 书中标“*”号的小节可略去不讲, 留给读者作为阅读材料. 如果要在 36 学时内讲授本课程, 可选讲本书第 1~4 章的主要内容和第 5 章的部分内容.

本书第 1~4 章和第 8 章的内容由韦来生老师执笔, 第 5~7 章的内容由张伟平老师执笔.

在书稿准备过程中, 中国科学技术大学统计与金融系研究生洪坚、宋慧明、霍涉云和周静雯等帮助完成了书稿前几章中文 Tex 的录入和编译, 作者对他们的辛勤工作表示真诚的感谢. 中国科学技术大学出版社对本书的出版给予了大力支

常用符号

\mathcal{X}	样本空间
Θ	参数空间
\mathbb{R}^n	n 维欧几里得空间
$N(\mu, \sigma^2)$	均值为 μ 、方差为 σ^2 的正态分布
$\Phi(\cdot)$	标准正态分布函数
$B(1, p)$	概率为 p 的两点分布, 也称为伯努利 (Bernoulli) 分布
$B(n, p)$	参数为 n, p 的二项分布
$Nb(1, p)$	概率为 p 的几何分布
$Nb(r, p)$	参数为 r, p 的负二项分布
$M(n, \mathbf{p})$	参数为 $n, \mathbf{p} = (p_1, \dots, p_r)$ 的多项分布
$P(\lambda)$	参数为 λ 的泊松分布
$U(a, b)$	区间 $[a, b]$ 上的均匀分布
$Be(a, b)$	参数为 a, b 的贝塔分布
$C(\mu, \lambda)$	位置参数为 μ 、刻度参数为 λ 的柯西分布
$\Gamma(r, \lambda)$	形状参数为 r 、刻度参数为 λ 的伽马分布
$\Gamma^{-1}(\alpha, \beta)$	参数为 α, β 的逆伽马分布
$Exp(\lambda)$	参数为 λ 的指数分布
$Pa(x_0, \alpha)$	参数为 x_0, α 的帕雷托 (Pareto) 分布
$N_p(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma})$	均值向量为 $\boldsymbol{\mu}$ 、协方差阵为 $\boldsymbol{\Sigma}$ 的 p 元正态分布

目 次

总序	i
前言	iii
常用符号	v
第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.1.1 从贝叶斯公式说起	1
1.1.2 三种信息	3
1.1.3 历史	5
1.1.4 古典学派和贝叶斯学派的论争	6
1.2 贝叶斯统计推断的若干基本概念	9
1.2.1 先验分布与后验分布	10
1.2.2 点估计问题	11
1.2.3 假设检验问题	11
1.2.4 区间估计问题	11
1.3 贝叶斯统计决策的若干基本概念	13
1.3.1 统计判决三要素	13
1.3.2 风险函数和一致最优决策函数	13
1.3.3 贝叶斯期望损失和贝叶斯风险	14
1.3.4 贝叶斯解	15
1.4 基本统计方法及理论的简单回顾 *	15
1.4.1 充分统计量及因子分解定理	15
1.4.2 指数族及指数族中统计量的完全性	17

4.7.4	稳健先验的若干情形	178
4.7.5	稳健性的其他问题	180
习题 4	.....	181
第 5 章	贝叶斯计算方法	187
5.1	引言	187
5.2	分析逼近方法	189
5.3	E-M 方法	190
5.4	蒙特卡洛抽样方法	193
5.5	马尔可夫链蒙特卡洛方法	196
5.5.1	MCMC 中的马尔可夫链	197
5.5.2	MCMC 的实施	200
5.5.3	Metropolis-Hastings 算法	206
5.5.4	Gibbs 抽样方法	222
5.5.5	可逆跳转马尔可夫链蒙特卡洛方法	230
5.6	R 与 WinBUGS 软件	235
5.6.1	使用 WinBUGS 建立模型	235
5.6.2	使用 WinBUGS 进行模型推断	239
5.6.3	使用 R 调用 WinBUGS	241
习题 5	.....	242
第 6 章	贝叶斯大样本方法	244
6.1	后验分布的极限	245
6.1.1	后验分布的相合性	245
6.1.2	后验分布的渐近正态性	247
6.2	后验分布的渐近高阶展开	252
6.3	拉普拉斯积分逼近方法	259
6.3.1	拉普拉斯方法	259
6.3.2	Kass-Kadane-Tierney 精细化	262
习题 6	.....	265

8.3.3	刻度指数族参数的单侧 NPEB 检验及其大样本性质	314
8.3.4	刻度指数族参数的双侧 NPEB 检验及其大样本性质	316
8.4	线性模型中参数的贝叶斯估计和参数型经验贝叶斯估计	319
8.4.1	引言	319
8.4.2	线性回归模型中回归系数的贝叶斯估计及其小样本性质	321
8.4.3	线性回归模型中回归系数的 PEB 估计及其小样本性质	325
8.5	线性模型中非参数经验贝叶斯估计和检验问题	330
8.5.1	引言	330
8.5.2	一般线性模型中参数的 NPEB 估计问题	331
8.5.3	一般线性模型中参数的 NPEB 检验问题	339
附表 1	常用统计分布表	344
附表 2	标准正态分布表	348
附表 3	t 分布表	349
附表 4	χ^2 分布表	350
参考文献	.....	352
索引	.....	367

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

1.1.1 从贝叶斯公式说起

在概率论中,我们学过全概率公式和贝叶斯公式,现回顾如下.

设 B_1, \dots, B_n (n 为有限的或无穷) 是样本空间 Ω 中的一个完备事件群 (又称为 Ω 的一个分划). 换言之,它们满足下列条件:

- (a) 两两不相交, 即 $B_i B_j = \emptyset$ ($i \neq j$);
- (b) 它们的并 (和) 正好是样本空间, 即 $\sum_{i=1}^n B_i = \Omega$.

设 A 为 Ω 中的一个事件, 则全概率公式为

$$P(A) = P\left(\sum_{i=1}^n AB_i\right) = \sum_{i=1}^n P(A|B_i)P(B_i).$$

这个公式将整个事件 A 分解成一些两两不相交的事件之并 (和). 直接计算 $P(A)$ 不容易, 但分解后的那些事件的概率容易计算, 从而使 $P(A)$ 的计算变得容易了.

在全概率公式的条件下, 即存在样本空间 Ω 中的一个完备事件群 $\{B_1, \dots, B_n\}$, 设 A 为 Ω 中的一个事件, 且 $P(B_i) > 0$ ($i = 1, \dots, n$), $P(A) > 0$, 则按条件概率计算方法, 有

$$P(B_i|A) = \frac{P(A|B_i)P(B_i)}{P(A)} = \frac{P(A|B_i)P(B_i)}{\sum_{j=1}^n P(A|B_j)P(B_j)}.$$

这个公式称为贝叶斯公式 (Bayes formula), 它是概率论中的一个著名公式.