

时间序列分析引论

(第二版)

C. 查特菲尔德 著

骆振华 译

李文清 杨玉钦 审校

7191

02

厦门大学出版社

时间序列分析引论

(第二版)

C. 查特菲尔德 著

骆 振 华 译

李文清 杨玉钦 审校

厦门大学出版社出版

福建省新华书店发行

厦门大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 8.25印张 178千字

1987年11月第1版 1987年11月第1次印刷

印数: 1-2500册

ISBN 7-5615-0043-2/O·2

书号: 13407·010 定价: 1.40元

译者的话

克里斯托弗·查特菲尔德的《时间序列分析引论》(第二版)是一本在时间序列分析方面的好教材。按作者的目的,是要为这个“较为困难的论题作易于理解的介绍,来填平理论和实践之间的鸿沟”。书中既有必要而严谨的理论阐述,又有宽阔而明确的应用背景。在取材方面,既有经典的内容又有新近的发展。来自经济、物理、化学、海洋等等领域的例子使得本书具有鲜明的实用性。在写作手法上,注意到命题的清晰和方法之间的比较,使得全书结构严密紧凑,叙述通俗易懂,因而,得到读者的好评。

本书原文是译者的恩师李文清教授惠赠的。李文清教授发现该书很好,希望译者能把该书译为选修课教材之用。在翻译过程中,李文清教授和詹建勋教授分别对译稿的前半部分和后半部分进行审阅和修改。译稿印成讲义使用后,反映不错。为了进一步发挥本教材的作用,承厦门大学出版社支持给予出版。在出版过程中,李文清教授、杨玉钦副教授对译稿重新进行详细审校和修改。钟同德教授也认真审阅全文,并对其部分作了仔细的修改。此外,詹建勋教授、黄启圣教授等有关同志给予大力帮助,谨此一并致以衷心的感谢。

由于水平有限,译文中欠妥与错误之处恐所难免,读者如有发现敬望随时惠赐片楮,以匡不逮,是所至盼。

骆振华

厦门大学, 1987. 8

目 录

第二版序	(1)
缩写字	(3)
1 引论	(4)
1.1 例 子	(4)
1.2 术 语	(7)
1.3 时间序列分析的目标	(8)
1.4 时间序列分析方法	(11)
1.5 有关时间序列的书评	(12)
2 简单的描述方法	(13)
2.1 变化的类型	(13)
2.2 平稳时间序列	(14)
2.3 时序图	(15)
2.4 变换	(15)
2.5 含有趋势的序列分析	(16)
2.5.1 曲线拟合	(16)
2.5.2 滤波	(17)
2.5.3 差分方法	(22)
2.6 季节波动	(22)
2.7 自相关	(23)
2.7.1 相关图	(26)
2.7.2 相关图解释	(26)
2.8 随机性的其它检验法	(31)

习题	(32)
3 时间序列的概率模型	(34)
3.1 随机过程	(34)
3.2 平稳过程	(36)
3.2.1 二阶平稳性	(38)
3.3 自相关函数	(39)
3.4 一些实用的随机过程	(40)
3.4.1 纯随机过程	(40)
3.4.2 随机游动	(41)
3.4.3 移动平均过程	(42)
3.4.4 自回归过程	(45)
3.4.5 混合模型	(51)
3.4.6 综合模型	(52)
3.4.7 一般线性过程	(52)
3.4.8 连续过程	(53)
3.5 Wold分解定理	(54)
习题	(55)
4 时域估计	(60)
4.1 自协方差和自相关函数的估计	(60)
4.1.1 相关图解释	(64)
4.1.2 遍历性定理	(64)
4.2 自回归过程的拟合	(65)
4.2.1 自回归过程的参数估计	(65)
4.2.2 自回归过程阶的确定	(69)

4.3	移动平均过程的拟合	(70)
4.3.1	移动平均过程的参数估计	(70)
4.3.2	移动平均过程阶的确定	(73)
4.4	混合模型的参数估计	(73)
4.5	综合模型的参数估计	(74)
4.6	Box—Jenkins季节模型	(74)
4.7	残量分析	(75)
4.8	关于模型建立的一般评论	(79)
	习题	(80)
5	预测	(82)
5.1	引言	(82)
5.2	单元法	(83)
5.2.1	趋势曲线的外推	(84)
5.2.2	指数修匀	(84)
5.2.3	Holt—Winters 预测方法	(87)
5.2.4	Box—Jenkins预测方法	(89)
5.2.5	逐步自回归	(92)
5.2.6	其它方法	(93)
5.3	多元法	(94)
5.3.1	多重回归	(94)
5.3.2	计量经济模型	(95)
5.3.3	Box—Jenkins方法	(96)
5.4	预测方法的比较	(96)
5.5	一些实例	(100)
5.6	预报理论	(104)

习题	(105)
6 频域中的平稳过程	(107)
6.1 引言	(107)
6.2 谱分布函数	(107)
6.3 谱密度函数	(112)
6.4 连续过程的谱	(115)
6.5 实例	(115)
习题	(120)
7 谱分析	(122)
7.1 傅里叶分析	(122)
7.2 简单正弦模型	(123)
7.2.1 Nyquist 频率	(126)
7.3 周期图分析	(127)
7.3.1 周期图和自协方差函数之间的关系	(131)
7.3.2 周期图的性质	(132)
7.4 谱分析: 某些相容估计方法	(133)
7.4.1 截尾自协方差函数的变换	(134)
7.4.2 Hanning 法	(137)
7.4.3 Hamming 法	(137)
7.4.4 周期图的平滑化	(138)
7.4.5 快速傅里叶变换	(140)
7.5 频谱的置信区间	(144)
7.6 不同估计方法的比较	(145)
7.7 连续时间序列的分析	(149)

7.8	讨论	(152)
7.9	一个实例	(158)
	习 题	(161)
8	二元过程	(162)
8.1	交互协方差函数与交互相关函数	(162)
8.1.1	实例	(164)
8.1.2	估计	(165)
8.1.3	解释	(166)
8.2	交叉谱	(167)
8.2.1	实例	(170)
8.2.2	估计	(173)
8.2.3	解释	(176)
	习 题	(176)
9	线性系统	(178)
9.1	引言	(178)
9.2	时域中的线性系统	(179)
9.2.1	一些实例	(180)
9.2.2	脉冲响应函数	(183)
9.2.3	阶跃响应函数	(184)
9.3	频域中的线性系统	(185)
9.3.1	频率响应函数	(185)
9.3.2	增益与相位图	(189)
9.3.3	一些实例	(191)
9.3.4	输入和输出的一般关系	(193)

9.3.5	串联线性系统	(199)
9.3.6	滤波器的设计	(201)
9.4	线性系统的辨识	(203)
9.4.1	频率响应函数的估计	(204)
9.4.2	Box—Jenkins方法	(208)
9.4.3	含有反馈的系统	(212)
习 题		(215)
10	一些其它的论题	(217)
附录 I	傅里叶变换、拉普拉斯变换及Z-变换	(224)
附录 I	狄拉克 δ 函数	(228)
附录 II	协方差	(230)
参考文献		(232)
习题解答		(250)

第二版序言

本书对时间序列分析提供一个入门。目前,对这个课题感兴趣的人日益增加。该书可以作为大学生和研究生在时间序列方面课程的教科书,也可以供研究人员自学之用。在写这本书时,我意识到这样的事实,即很多书已经从理论的角度书写时间序列分析,所以我的目的是对这个较为困难的论题作易于理解的介绍,来填平理论和实践之间的鸿沟。书中用一定的理论来阐述时间序列的概念使本书有数学上的兴趣。另外,介绍了一些实际问题以帮助读者处理实际数据的分析。

虽然本书主要是一本入门书,我们仍然对进一步的阅读和更先进的论题添加适当的参考文献,使得有志于进一步研究的读者能够继续他的学习。这些参考文献主要是易于理解和易于接受的原始资料,而不是原创作者的文献。

本书假定读者有基本的概率论和初等的统计推断的知识。

撰写一本入门教科书的困难之一是许多实际问题至少包含着一种“非标准”的特性,而且这些东西不可能在一本不太长的书中全都顾及到。因此,读者在已经掌握了时间序列分析的基本概念以后要训练用他的常识来处理问题。5.5节的例1就是一个必须应用普通常识的典型情形,它也突出地说明,任何时间序列分析的第一步总是应该依数据作图。

第二版的结构大多与第一版相同。书中许多地方已作了澄清和现代化,特别是在第3章和第4章。某些节,例如1.5

缩写字

AR (Autoregressive) 自回归

MA (Moving Average) 移动平均

ARMA (Mixed Autoregressive Moving Average) 混合自回归移动平均

ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) 自回归综合移动平均

ac. f. (Autocorrelation function) 自相关函数

acv. f. (Autocovariance function) 自协方差函数

FFT (Fast Fourier Transform) 快速傅里叶变换

$N(\mu, \sigma^2)$ 均值为 μ , 方差为 σ^2 的正态分布随机变量

χ^2_ν 自由度为 ν 的 χ^2 随机变量

记号

∇ 差分算子 $\nabla x_t = x_t - x_{t-1}$

B 后向位移算子 $Bx_t = x_{t-1}$

E 期望值或数学期望

1

引论

时间序列是一个依时间顺序作成的观测资料的集合。其实例遍布自经济学到工程学的各种领域，而分析时间序列的方法，构成了统计学的一个重要领域。

1.1 例子

我们从实践中产生的某种时间序列的例子开始。

(a) **经济时间序列** 许多时间序列来自经济学，包括诸如这样的序列：逐日的股票价格、逐月的出口总额、逐月的平均收入、逐年的公司利润总额，等等。图1.1表示一部分古典的Beveridge小麦物价指数序列，它由在不同国家的将近50个地区的、从1500年到1869年逐年估量的小麦价格组成。这个完整的序列是由Anderson (1971)得出的。该序列特别使经济学家感到兴趣。一经 (Granger和Hughes, 1971) 分析就清楚地表明它有一个以约13.3年为周期的重要循环。

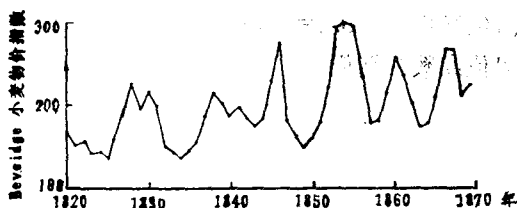


图1.1 部分Beveridge小麦价格指标序列

(b) **物理时间序列** 许多时间序列的类型出现在物理科学,特别在气象学、海洋科学和地球物理学方面。例如逐日的降雨量,和逐时、逐日或逐月测量的气温。图1.2表明在巴西的Recife在10年内测量的气温,其中每个观测值是月平均值。

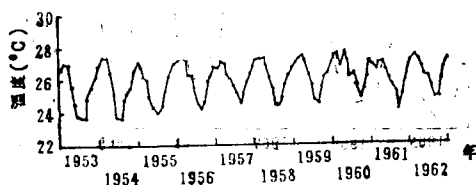


图1.2 在巴西的Recife的平均气温

某些机械记录器采取连续测量形成一个连续的图样,而不是在离散的时间间隔内观测。例如在某些实验室,重要的是尽可能保持温度和湿度不变,所以安装仪表来连续地测量这些变量。一些连续图样的例子在第7章图7.4内给出。连续记录器往往在一定程度上修匀了数据,因为它们对高频变化是不敏感的。

(c) **销售时间序列** 逐星期或逐月的销售量的分析在商业中是个重要的问题。取自Chatfield和Prothero (1973a)的图1.3表明某公司的某种工程产品在七年期间的月销售额。市场数据与经济数据有许多相似性。它对于预测未来销售额以便计划生产是很重要的,对检查销售量与诸如各个时限的广告费等其它时间序列之间的关系也是很重要的。

(d) **人口统计的时间序列** 时间序列出现在人口的研究中。比如按年统计的英格兰和威尔士人口就是一例。人口统

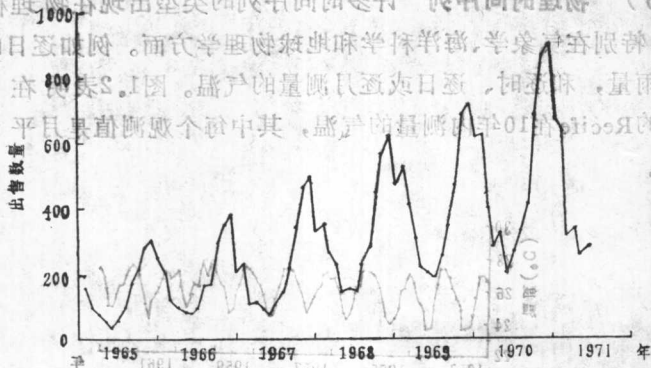


图1.3 某工程公司的月销售量

计者要预告人口在长达10年或20年以后的变化（参看Brass, 1974）。

(e) 过程控制 在过程控制中，主要问题是通过测量一个标志过程品质的变量，以检出在制造过程中性能的变化。这些观测值可依时间作图如图1.4，当测量值偏离某个目标值太远，则可用适当的校正措施来控制这个过程。对这类时间序列问题，已经开发了专门的技术，读者可参看任何一本有关于统计品质控制的书籍（例如Wetherill, 1977）。

图1.4展示了过程控制中的时间序列数据。图中包含一条波动较大的数据线，代表随时间变化的观测值，以及一条相对平稳的水平线，代表目标值。当观测值偏离目标值时，通常会触发控制措施。图中还标注了“目标变量”和“时间”。

目标变量

时间

图1.4 过程控制图

(f) **二元过程** 一种特殊类型的时间序列是观测值只能取二个数值之一，通常记为0和1（参看图1.5）。这种类型的时间序列称为二元过程，尤其出现在通讯理论中。例如开关的位置，是“开”或“关”，可以分别被记录为1或0。



图1.5 二元过程的一个实现

(g) **点过程** 在我们考虑依时间“随机”发生的事件时出现一种不同类型的时间序列。例如，我们可以记录重大铁路事故的日期。这种类型的事件序列称为点过程（看图1.6）。对于这种类型的观测资料，我们感兴趣的是在给定的时间周期内事件出现次数的分布及事件之间的时间间隔的分布。分析该类型数据的方法已由Cox和Lewis讨论过（1969），本书不逐一进行讨论。

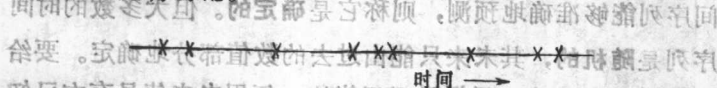


图1.6 点过程的一个实现（“x”表示事件）

1.2 术语

时间序列称为连续的指的是其观测值是依时间连续取得的，如图1.5和图7.4。甚至当观测变量如图1.5中那样仅取值于一离散集的这类时间序列也用连续的这个名称。时间序

列称为离散的指的是它仅在特定的时间（通常是等距的）取观测值。甚至量测变量是连续变量的这一类时间序列也用离散这一名称。

在本书中，我们主要涉及观测资料以相等间隔取得的离散时间序列。我们也将考虑连续的时间序列，并在第10章简要地讨论观测值在不相等的时间间隔取得的离散时间序列。

离散时间序列可以用很多途径产生。给定一个连续的时间序列，我们可以按相等时间间隔读出数值而得出一个离散序列，称之为**样本序列**。另一类离散序列出现在当一个变量没有瞬时值，但我们可以将等时间间隔中的数值聚集（或积累）起来。这种类型的例子诸如月出口量和日降雨量。最后，有些时间序列生来就是离散的比如公司逐年把红利分发给股东就是一例。

很多统计理论是和独立观测资料的随机样本联系在一起的。时间序列分析的特色就在于逐次的观测值通常是不独立的，且分析必须考虑到观测资料的时间顺序。当逐次观测值是相关的时，未来数值可以由过去观测资料来预测。如果时间序列能够准确地预测，则称它是**确定的**。但大多数的时间序列是**随机的**，其未来只能由过去的数值部分地确定。要给出随机序列准确的预报是不可能的，须用未来值具有在已知过去值条件下的概率分布这想法来代替。

1.3 时间序列分析的目标

分析一个时间序列有各种可能的目标，这些目标可分为描述、解释、预报和控制，下面依次加以讨论。