

# 应用计量经济学

## EViews高级讲义

Applied Econometrics: Advanced Lecture Notes on EViews

下

陈灯塔 / 著

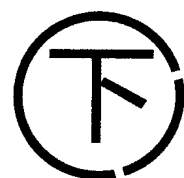


北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

# 应用经济计量学

## EViews高级讲义

Applied Econometrics: Advanced Lecture Notes on EViews



陈灯塔 / 著



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

---

## 简明目录

---

第 1 讲	EViews 基础	3
第 2 讲	EViews 程序设计	47
第 3 讲	回归分析	137
第 4 讲	检验和预测	177
第 5 讲	ARMA 模型	225
第 6 讲	ARCH 模型	253
第 7 讲	单位根过程	293
第 8 讲	面板数据基础	331
第 9 讲	面板数据应用	393
第 10 讲	方程组和联立方程	459
第 11 讲	VAR 模型	499
第 12 讲	状态空间模型	565
第 13 讲	情景分析	607
第 14 讲	广义矩估计	651
第 15 讲	估计方法	709
第 16 讲	离散和受限因变量模型	785
附录 A	EViews 对象	845
附录 B	统计分析	913
附录 C	选项设置	955
附录 D	EViews 新版本	967

---

# 目 录

---

简明目录 .....	i
表格目录 .....	xi
前 言 .....	xiii

## I EViews 编程

---

<b>第 1 讲 EViews 基础</b> .....	<b>3</b>
1.1 认识 EViews .....	4
1.1.1 EViews 窗口 .....	4
1.1.2 EViews 是可编程的 .....	4
1.1.3 启动和退出 .....	5
1.1.4 获取帮助 .....	6
1.2 实例体验 .....	7
1.2.1 数据查看 .....	9
1.2.2 回归模型估计 .....	13
1.2.3 修改模型 .....	16
1.2.4 预测 .....	17
1.2.5 进一步的检验 .....	18
1.2.6 结束语 .....	20
1.3 工作文件 .....	21
1.3.1 基本概念 .....	21
1.3.2 打开和关闭 .....	21
1.3.3 建立 .....	22
1.3.4 保存 .....	25
1.3.5 从外部数据创建 .....	26
1.3.6 小结 .....	29
1.4 序列对象 .....	30
1.4.1 创建和初始化 .....	30
1.4.2 命名规则 .....	31
1.4.3 查看 .....	32
1.4.4 定格和打印 .....	33
1.4.5 其他操作 .....	34
1.4.6 数据和函数 .....	36
1.4.7 小结 .....	37
1.5 对象: 数据和方法 .....	38
1.5.1 面向对象 .....	38
1.5.2 EViews 对象 .....	40
1.5.3 群对象 .....	41
1.5.4 命令语法 .....	44
1.6 小结 .....	45
<b>第 2 讲 EViews 程序设计</b> .....	<b>47</b>
2.1 表达式和赋值 .....	48
2.1.1 常量 .....	48
2.1.2 变量 .....	48
2.1.3 运算符 .....	52
2.1.4 表达式 .....	54
2.1.5 赋值 .....	55
2.1.6 超前、滞后和差分 .....	59
2.1.7 缺失值 .....	60
2.1.8 小结 .....	62
2.2 流程控制 .....	63

2.2.1	IF 语句	63	2.5.4	工作页信息	99
2.2.2	FOR 循环	65	2.5.5	工作文件函数	100
2.2.3	WHILE 循环	68	2.5.6	修改工作页	103
2.2.4	跳出循环	69	2.5.7	小结	108
2.2.5	子程序	69	2.6	使用样本对象	110
2.2.6	小结	75	2.6.1	工作样本集	110
2.3	编程和执行	76	2.6.2	样本对象	115
2.3.1	编辑程序	76	2.6.3	样本表达式	117
2.3.2	执行程序	78	2.6.4	小结	120
2.3.3	命令和函数	81	2.7	编程提示	121
2.3.4	小结	82	2.7.1	小提示	121
2.4	字符串和日期	83	2.7.2	系数对象	122
2.4.1	字符串	83	2.7.3	复制	122
2.4.2	日期	87	2.7.4	命令和函数	124
2.4.3	小结	92	2.7.5	通配符	126
2.5	多页工作文件	93	2.8	深入编程	128
2.5.1	建立工作页	93	2.8.1	表格和图形	128
2.5.2	管理工作页	95	2.8.2	自新序列	129
2.5.3	结构化工作页	96	2.9	小结	133

## II 时间序列分析

### 第3讲 回归分析

137

3.1	普通最小二乘估计	138	3.3.3	多项式分布滞后	155
3.1.1	例子	138	3.4	加权最小二乘估计	159
3.1.2	方程的设定	139	3.4.1	理论回顾	159
3.1.3	多元线性回归	141	3.4.2	例子	160
3.1.4	估计结果	143	3.5	两阶段最小二乘估计	163
3.1.5	方程对象	145	3.5.1	理论回顾	163
3.1.6	小结	147	3.5.2	例子	166
3.2	方差稳健估计	148	3.5.3	其他设定	167
3.2.1	一致估计	148	3.6	非线性最小二乘估计	169
3.2.2	例子	149	3.6.1	理论回顾	169
3.3	解释变量	151	3.6.2	例子	170
3.3.1	哑变量	151	3.6.3	估计中的问题	173
3.3.2	交互项	153	3.7	小结	174

### 第4讲 检验和预测

177

4.1	设定和检验基础	178	4.2.1	置信椭圆	182
4.1.1	模型设定	178	4.2.2	Wald 检验	184
4.1.2	假设检验	180	4.2.3	遗漏变量	187
4.2	系数检验	182	4.2.4	冗余变量	188

4.2.5	Granger 因果关系	188	4.5.3	用 EViews 进行预测	201
4.3	残差检验	190	4.6	回归方程预测	206
4.3.1	序列相关的 LM 检验	190	4.6.1	有滞后因变量的预测	206
4.3.2	残差平方的相关图	191	4.6.2	有 ARMA 项的预测	207
4.3.3	ARCH LM 检验	192	4.6.3	表达式的预测	208
4.3.4	White 检验	193	4.7	应用实例	211
4.4	稳定性和设定检验	195	4.7.1	递归最小二乘估计	211
4.4.1	Chow 检验	195	4.7.2	结构断点检验	214
4.4.2	Chow 预测检验	196	4.7.3	Hausman 检验	215
4.4.3	RESET 检验	197	4.7.4	非嵌套模型检验	217
4.5	预测基础	199	4.7.5	Cox 检验	218
4.5.1	预测误差	199	4.8	小结	221
4.5.2	预测评价	200			
<b>第 5 讲 ARMA 模型</b>					<b>225</b>
5.1	线性相关	226	5.2.2	ARMA 结构	234
5.1.1	自相关和偏自相关	226	5.2.3	模型设定	235
5.1.2	序列相关的检验	228	5.3	估计和诊断	242
5.1.3	互相关	231	5.3.1	估计方法	242
5.2	ARMA 建模	232	5.3.2	模型诊断	245
5.2.1	自回归	232	5.4	小结	250
<b>第 6 讲 ARCH 模型</b>					<b>253</b>
6.1	概览	254	6.4	非对称 GARCH 模型	273
6.1.1	模型设定	254	6.4.1	TGARCH	273
6.1.2	标准化残差分布	255	6.4.2	EGARCH	275
6.1.3	对数似然函数	256	6.4.3	PGARCH	279
6.2	GARCH 模型	258	6.4.4	CGARCH	281
6.2.1	基本形式	258	6.4.5	GARCH 效应	282
6.2.2	其他形式	260	6.5	其他 GARCH 模型	284
6.3	应用实例	262	6.5.1	系数限制模型	284
6.3.1	汇率	262	6.5.2	ARCD 模型	285
6.3.2	检验和预测	264	6.5.3	多元 GARCH	286
6.3.3	扩展模型	268	6.6	小结	287
<b>第 7 讲 单位根过程</b>					<b>293</b>
7.1	基本概念	294	7.3	应用实例	310
7.1.1	平稳性	294	7.3.1	单位根检验	310
7.1.2	随机趋势	297	7.3.2	检验方法比较	314
7.2	单位根检验	301	7.3.3	DGP 识别	317
7.2.1	检验方法	301	7.3.4	季节性	321
7.2.2	零频率频谱估计	307	7.3.5	误差修正模型	324
7.2.3	滞后阶数	309	7.4	小结	325

### III 面板数据分析

#### 第8讲 面板数据基础 331

8.1 线性模型 . . . . .	333	8.4.4 数据存取 . . . . .	362
8.1.1 矩阵 . . . . .	333	8.4.5 小结 . . . . .	366
8.1.2 模型表示 . . . . .	336	8.5 双向效应 . . . . .	367
8.1.3 简单估计方法 . . . . .	338	8.5.1 矩阵关系 . . . . .	367
8.2 固定效应和随机效应 . . . . .	341	8.5.2 双向效应 . . . . .	369
8.2.1 固定效应 . . . . .	341	8.5.3 例子 . . . . .	370
8.2.2 随机效应 . . . . .	344	8.6 其他模型设定 . . . . .	372
8.2.3 比较 . . . . .	347	8.6.1 变斜率 . . . . .	372
8.3 应用实例 . . . . .	349	8.6.2 FGLS . . . . .	375
8.3.1 简单估计 . . . . .	349	8.6.3 AR 项 . . . . .	377
8.3.2 固定效应 . . . . .	350	8.6.4 工具变量法 . . . . .	378
8.3.3 随机效应 . . . . .	351	8.6.5 方程组 . . . . .	382
8.3.4 非平衡面板 . . . . .	353	8.7 方差估计和检验 . . . . .	383
8.4 使用合伙对象 . . . . .	354	8.7.1 系数方差稳健估计 . . . . .	383
8.4.1 创建 . . . . .	355	8.7.2 检验 . . . . .	385
8.4.2 合伙数据 . . . . .	357	8.8 小结 . . . . .	388
8.4.3 合伙对象 . . . . .	359		

#### 第9讲 面板数据应用 393

9.1 面板工作文件 . . . . .	394	9.3.1 基本模型 . . . . .	420
9.1.1 创建 . . . . .	394	9.3.2 扩展模型 . . . . .	427
9.1.2 面板结构 . . . . .	400	9.3.3 系数方差稳健估计 . . . . .	429
9.1.3 面板工作页函数 . . . . .	404	9.3.4 检验和预测 . . . . .	431
9.1.4 修改面板工作页 . . . . .	405	9.3.5 非线性模型 . . . . .	433
9.1.5 小结 . . . . .	408	9.3.6 设定和估计 . . . . .	434
9.2 使用面板数据 . . . . .	409	9.4 面板单位根 . . . . .	437
9.2.1 工作样本集 . . . . .	409	9.4.1 检验方法 . . . . .	437
9.2.2 序列对象 . . . . .	412	9.4.2 应用实例 . . . . .	442
9.2.3 其他对象 . . . . .	418	9.4.3 DGP 识别 . . . . .	447
9.2.4 小结 . . . . .	419	9.5 小结 . . . . .	454
9.3 应用实例 . . . . .	420		

### IV 多方程模型

#### 第10讲 方程组和联立方程 459

10.1 回归方程组 . . . . .	460	10.1.3 FGLS 估计 . . . . .	465
10.1.1 线性模型 . . . . .	460	10.1.4 FIML 估计 . . . . .	468
10.1.2 SOLS 估计 . . . . .	463	10.1.5 非线性模型 . . . . .	469

10.1.6 系数限制 . . . . .	469	10.3.1 线性模型 . . . . .	485
10.2 使用方程组对象 . . . . .	471	10.3.2 识别 . . . . .	486
10.2.1 设定 . . . . .	472	10.3.3 堆叠形式 . . . . .	489
10.2.2 估计 . . . . .	474	10.3.4 S2SLS 估计 . . . . .	490
10.2.3 方程组对象 . . . . .	482	10.3.5 3SLS 估计 . . . . .	492
10.2.4 小结 . . . . .	484	10.3.6 例子 . . . . .	493
10.3 联立方程 . . . . .	485	10.4 小结 . . . . .	496
<b>第 11 讲 VAR 模型</b> . . . . .	<b>499</b>		
11.1 VAR 基础 . . . . .	500	11.3.4 协整方程识别 . . . . .	531
11.1.1 模型 . . . . .	500	11.4 协整检验 . . . . .	538
11.1.2 检验 . . . . .	505	11.4.1 检验方法 . . . . .	538
11.1.3 预测 . . . . .	512	11.4.2 三类 DGP . . . . .	543
11.1.4 Var 对象 . . . . .	512	11.4.3 五种模型 . . . . .	545
11.2 VAR 分析 . . . . .	515	11.4.4 实例分析 . . . . .	547
11.2.1 脉冲响应 . . . . .	515	11.5 SVAR 模型 . . . . .	552
11.2.2 方差分解 . . . . .	521	11.5.1 模型 . . . . .	552
11.3 VEC 模型 . . . . .	525	11.5.2 短期限制 . . . . .	552
11.3.1 协整和误差修正 . . . . .	525	11.5.3 长期限制 . . . . .	557
11.3.2 VEC 设定 . . . . .	526	11.5.4 估计 . . . . .	558
11.3.3 例子 . . . . .	527	11.6 小结 . . . . .	560
<b>第 12 讲 状态空间模型</b> . . . . .	<b>565</b>		
12.1 模型设定 . . . . .	566	12.3.1 模型设定 . . . . .	582
12.1.1 基本形式 . . . . .	566	12.3.2 例子 . . . . .	585
12.1.2 例子 . . . . .	567	12.3.3 状态空间对象 . . . . .	587
12.2 Kalman 滤波 . . . . .	570	12.4 信号和状态 . . . . .	589
12.2.1 计算过程 . . . . .	570	12.4.1 提取 . . . . .	589
12.2.2 状态空间模型估计 . . . . .	574	12.4.2 图形 . . . . .	591
12.2.3 初始化 . . . . .	579	12.4.3 预测 . . . . .	596
12.3 使用状态空间对象 . . . . .	582	12.5 小结 . . . . .	603
<b>第 13 讲 情景分析</b> . . . . .	<b>607</b>		
13.1 演示 . . . . .	608	13.3.2 情景 . . . . .	622
13.1.1 宏观经济模型 . . . . .	608	13.3.3 情景比较 . . . . .	624
13.1.2 评估 . . . . .	610	13.3.4 图形 . . . . .	627
13.1.3 样本外预测 . . . . .	612	13.4 使用样板对象 . . . . .	628
13.2 基础知识 . . . . .	617	13.4.1 设定 . . . . .	628
13.2.1 方程 . . . . .	617	13.4.2 查看模型 . . . . .	631
13.2.2 求解 . . . . .	618	13.4.3 外加因子 . . . . .	632
13.2.3 变量管理 . . . . .	619	13.4.4 样板对象 . . . . .	634
13.3 情景分析 . . . . .	620	13.5 模型求解 . . . . .	636
13.3.1 例子 . . . . .	620	13.5.1 求解 . . . . .	636



13.5.2 求解选项	638
13.5.3 目标路径控制	641
13.5.4 模型诊断	643

13.6 小结	645
---------	-----

## V 深入应用

### 第 14 讲 广义矩估计

651

14.1 单方程	652
14.1.1 GMM 方法	652
14.1.2 GMM 与单方程估计	656
14.1.3 例子	658
14.1.4 小结	664
14.2 方差估计	665
14.2.1 核估计	665
14.2.2 例子	667
14.3 方程组	670
14.3.1 GMM 方法	670
14.3.2 GMM 与系统估计	672
14.3.3 例子	674

14.4 GMM 方法	679
14.4.1 渐近性	679
14.4.2 正交条件	681
14.4.3 最佳工具变量	683
14.4.4 例子	683
14.5 面板数据	687
14.5.1 GMM 方法	687
14.5.2 例子	692
14.5.3 动态模型	696
14.5.4 DPD 例子	699
14.6 小结	705

### 第 15 讲 估计方法

709

15.1 最大似然估计	711
15.1.1 最大似然原理	711
15.1.2 估计方法	714
15.1.3 检验方法	719
15.1.4 参数重构	721
15.2 应用实例	724
15.2.1 AR(1)	724
15.2.2 GARCH(1,1)	729
15.2.3 ARCD	732
15.2.4 多项选择模型	736
15.2.5 势态转换模型	739
15.2.6 Gamma 分布	748

15.2.7 检验	753
15.3 使用对数似然对象	759
15.3.1 设定	759
15.3.2 估计	764
15.3.3 对数似然对象	765
15.4 非参数估计	767
15.4.1 直方图	767
15.4.2 密度函数估计	771
15.4.3 核估计	775
15.4.4 近邻法	777
15.4.5 小结	779
15.5 小结	780

### 第 16 讲 离散和受限因变量模型

785

16.1 二元选择模型	786
16.1.1 理论回顾	786
16.1.2 应用分析	788
16.1.3 检验和预测	793
16.1.4 模型估计	796
16.2 排序选择模型	800

16.2.1 理论回顾	800
16.2.2 模型估计	801
16.2.3 应用分析	804
16.2.4 预测	806
16.3 计数模型	810
16.3.1 理论回顾	810

16.3.2 模型估计 . . . . .	812	16.5 审查回归模型 . . . . .	829
16.3.3 应用分析 . . . . .	815	16.5.1 理论回顾 . . . . .	829
16.4 截断回归模型 . . . . .	819	16.5.2 模型估计 . . . . .	830
16.4.1 理论回顾 . . . . .	819	16.5.3 检验和预测 . . . . .	833
16.4.2 模型估计 . . . . .	821	16.6 小结 . . . . .	838
16.4.3 检验和预测 . . . . .	825		

## VI 附录

<b>附录 A EViews 对象</b>	<b>845</b>		
A.1 图形 . . . . .	846	A.4.2 自动序列 . . . . .	882
A.1.1 创建图形 . . . . .	846	A.4.3 自新序列 . . . . .	882
A.1.2 定制图形 . . . . .	848	A.4.4 字符串序列 . . . . .	883
A.1.3 图形模板 . . . . .	857	A.4.5 小结 . . . . .	884
A.1.4 打印和导出 . . . . .	858	A.5 值映射 . . . . .	885
A.1.5 小结 . . . . .	858	A.5.1 例子 . . . . .	885
A.2 表格 . . . . .	860	A.5.2 值映射对象 . . . . .	886
A.2.1 创建表格 . . . . .	860	A.5.3 小结 . . . . .	887
A.2.2 填表 . . . . .	860	A.6 链接对象 . . . . .	888
A.2.3 格式化表格 . . . . .	861	A.6.1 建立和设定 . . . . .	888
A.2.4 打印和导出 . . . . .	865	A.6.2 频率转换 . . . . .	889
A.2.5 小结 . . . . .	866	A.6.3 配对合并 . . . . .	892
A.3 矩阵 . . . . .	867	A.6.4 理解链接 . . . . .	897
A.3.1 矩阵对象 . . . . .	867	A.6.5 相关操作 . . . . .	899
A.3.2 视图和过程 . . . . .	869	A.6.6 面板工作页 . . . . .	900
A.3.3 表达式 . . . . .	870	A.6.7 小结 . . . . .	903
A.3.4 赋值 . . . . .	872	A.7 EViews 数据库 . . . . .	904
A.3.5 矩阵操作 . . . . .	876	A.7.1 基本操作 . . . . .	904
A.3.6 矩阵和循环 . . . . .	878	A.7.2 基本概念 . . . . .	905
A.3.7 命令和函数 . . . . .	879	A.7.3 存取 . . . . .	906
A.3.8 小结 . . . . .	881	A.7.4 维护 . . . . .	910
A.4 序列对象 . . . . .	882	A.7.5 外部数据库 . . . . .	911
A.4.1 日期序列 . . . . .	882	A.7.6 小结 . . . . .	911

<b>附录 B 统计分析</b>	<b>913</b>		
B.1 基本统计和检验 . . . . .	914	B.2.1 移动平均法 . . . . .	925
B.1.1 描述性统计 . . . . .	914	B.2.2 X12 法 . . . . .	927
B.1.2 简单假设检验 . . . . .	918	B.2.3 Tramo/Seats . . . . .	928
B.1.3 经验分布的检验 . . . . .	921	B.2.4 Tramo/Seats vs. X12 . . . . .	929
B.1.4 BDS 检验 . . . . .	922	B.2.5 小结 . . . . .	930
B.1.5 小结 . . . . .	924	B.3 平滑和滤波 . . . . .	931
B.2 季节调整 . . . . .	925	B.3.1 平滑 . . . . .	931

B.3.2	Hodrick-Prescott 滤波器 . . . . .	935	B.4.4	主成分分析 . . . . .	944		
B.3.3	频率滤波 . . . . .	937	B.4.5	小结 . . . . .	946		
B.3.4	小结 . . . . .	938	B.5	统计图 . . . . .	947		
B.4	多元统计分析 . . . . .	939	B.5.1	经验分布 . . . . .	947		
B.4.1	图形 . . . . .	939	B.5.2	QQ 图 . . . . .	948		
B.4.2	统计表 . . . . .	940	B.5.3	盒图 . . . . .	951		
B.4.3	齐性检验 . . . . .	942	B.5.4	小结 . . . . .	952		
<b>附录 C 选项设置</b>					<b>955</b>		
C.1	设置 EViews . . . . .	956	C.2.3	非线性方程组求解 . . . . .	961		
C.1.1	全局设置 . . . . .	956	C.3	优化算法 . . . . .	963		
C.1.2	配置文件 . . . . .	957	C.3.1	二阶导教法 . . . . .	963		
C.2	估计和求解 . . . . .	959	C.3.2	一阶导教法 . . . . .	964		
C.2.1	估计和求解选项 . . . . .	959	C.3.3	步长 . . . . .	964		
C.2.2	导数计算 . . . . .	960	<b>附录 D EViews 新版本</b>				
					<b>967</b>		
D.1	版本更新 . . . . .	968	D.5	分位数回归 . . . . .	1030		
D.1.1	EViews 6 . . . . .	968	D.5.1	理论回顾 . . . . .	1030		
D.1.2	EViews 7 . . . . .	971	D.5.2	模型估计 . . . . .	1031		
D.1.3	EViews 7.1 和 7.2 . . . . .	979	D.5.3	应用分析 . . . . .	1035		
D.1.4	配置文件 . . . . .	982	D.6	多元 GARCH . . . . .	1038		
D.2	EViews 对象 . . . . .	984	D.6.1	理论回顾 . . . . .	1038		
D.2.1	输出管理 . . . . .	984	D.6.2	模型估计 . . . . .	1043		
D.2.2	字符串 . . . . .	989	D.6.3	应用分析 . . . . .	1050		
D.3	因子分析 . . . . .	992	D.7	GMM 方法 . . . . .	1054		
D.3.1	理论回顾 . . . . .	992	D.7.1	长期方差 . . . . .	1054		
D.3.2	应用实例 . . . . .	998	D.7.2	GMM 估计 . . . . .	1057		
D.3.3	因子对象 . . . . .	1006	D.7.3	工具变量的诊断和检验 . . . . .	1062		
D.4	广义线性模型 . . . . .	1012	D.8	COM 自动化 . . . . .	1066		
D.4.1	理论回顾 . . . . .	1012	D.8.1	COM 服务器 . . . . .	1066		
D.4.2	模型估计 . . . . .	1017	D.8.2	COM 客户端 . . . . .	1072		
D.4.3	应用分析 . . . . .	1027	D.9	小结 . . . . .	1077		
英汉术语对照 . . . . .					1085		
索引 . . . . .					1093		

---

# 表格目录

---

1.1	工作文件的频率类型	23
1.2	工作文件可导出的外部文件类型	26
2.1	运算符的优先顺序	53
2.2	特殊的表达式	55
2.3	含有缺失值的关系运算和逻辑运算	61
2.4	EViews 语言的命令和基础函数	82
2.5	字符串函数	86
2.6	日期函数	89
2.7	工作文件函数	102
3.1	方程对象的成员函数	146
7.1	单位根检验	307
9.1	面板结构平衡方法比较	402
9.2	工作文件函数 (面板结构)	405
9.3	面板单位根检验	442
11.1	协整检验	547
12.1	Kalman 滤波的变量	571
15.1	系数约束检验 (最大似然估计)	720
15.2	常用的核函数	772
A.1	常用颜色	852
A.2	数值的显示格式	862
A.3	矩阵对象间的赋值	875
A.4	频率转换选项值	891
A.5	缩并选项	895
D.1	核函数 (频域)	1055

---

## 状态空间模型

---

20 世纪五六十年代对太空的争夺，航天系统的运行控制给控制理论带来了新的挑战。Kalman (1960) 和 Kalman and Bucy (1961) 提出的 Kalman 滤波通过非完全且有噪声的观测，估计动态系统的状态，丰富和发展了现代控制理论。由于其易于实现且功能强大，Kalman 滤波迅速应用到其他领域，如语音处理，气象预报和经济系统等领域中。

得益于威力无比的 Kalman 滤波递推算法，状态空间模型能够把不可观测的变量包含到模型中来，例如缺失值、测量误差、波动率、理性预期和持久收入等。经济计量分析中，状态空间模型囊括了一大类经济计量模型，例如在时间序列计量分析方面，ARMA 模型、VAR 模型、势态转换模型 (regime switching) 和随机参数模型等，都可以写成状态空间模型，进行估计和分析。

本讲基于 EViews 提供的状态空间对象 (Sspace object)，介绍 Kalman 滤波方法，讨论状态空间模型的设定和估计，以及信号和状态的分析 and 预测：

- 1) 阐述状态空间模型的具体设定，给出可以写成状态空间模型的计量模型实例。
- 2) 回顾 Kalman 滤波的基本步骤，理解滤波、预测和平滑的含义。
- 3) 介绍状态空间模型的似然函数，讲解状态空间模型的估计结果。
- 4) 介绍状态空间对象，阐述状态空间模型的信号方程、状态方程和干扰结构的设定方法，并提供了几个完整的例子。
- 5) 讨论提取信号和状态信息的函数和命令，演示 EViews 提供的信号和状态的图形功能。
- 6) 介绍信号和状态的多步向前预测、动态预测和平滑预测。

Kalman 滤波的术语主要来自控制工程和信号处理领域，相关的文献汗牛充栋。计量经济学中，状态空间模型和 Kalman 滤波的经典文献请参考 Hamilton (1994a,b) 和 Harvey (1989)。

## § 12.1 模型设定

状态空间模型由状态方程和信号方程组成。本节以线性的状态空间模型为基础，阐述状态空间模型的具体设定，然后给出了可以写成状态空间模型的计量模型实例。

## § 12.1.1 基本形式

记  $G \times 1$  向量  $y_t$  为  $t$  时刻的观测， $t = 1, 2, \dots, T$ ，而  $Z \times 1$  向量  $z_t$  是不可直接观测的，称为状态向量 (state vector)，则描述  $y_t$  动态行为的状态空间模型 (state space model) 为

$$z_t = Fz_{t-1} + w_t \quad (12.1a)$$

$$y_t = Ax_t + Hz_t + v_t \quad (12.1b)$$

其中  $K \times 1$  向量  $x_t$  为外生向量，矩阵  $F$ ,  $A$  和  $H$  是系数矩阵，里面的元素可以是时变的，简单起见，我们先讨论系数矩阵为常数矩阵的情况。通常将方程 (12.1a) 称为状态方程 (state equations)，或者叫转移方程 (transition equations)，而将方程 (12.1b) 称为信号方程 (signal equations) 或者观测方程 (observation equations)。  $Z \times 1$  阶向量  $w_t$  和  $G \times 1$  向量  $v_t$  都是向量白噪声过程，满足

$$E(w_t) = 0 \quad E(w_t w_l') = \begin{cases} W & t = l \\ 0 & t \neq l \end{cases}$$

$$E(v_t) = 0 \quad E(v_t v_l') = \begin{cases} V & t = l \\ 0 & t \neq l \end{cases}$$

其中协方差矩阵  $W$  和  $V$  分别为  $Z \times Z$  和  $G \times G$  矩阵，简单起见，我们假设  $w_t$  和  $v_t$  不相关，即

$$E(w_t v_l') = 0 \quad \forall t, l$$

此外，我们假设干扰和初始状态  $z_1$  不相关，即

$$E(w_t z_1') = 0 \quad E(v_t z_1') = 0 \quad t = 1, 2, \dots, T$$

我们把状态空间模型 (12.1) 及其干扰的设定形式称为状态空间模型的基本形式 (basic form)。

- 状态方程 (12.1a) 具有 VAR(1) 的形式。请注意常见的另外一种形式，如 Lütkepohl (2005) 和 Tsay (2005) 中，将状态方程设定为

$$z_{t+1} = Fz_t + \eta_t$$

实际上是一样的，他们的  $\eta_t$  对应于式 (12.1a) 的  $w_{t+1}$ 。

- 由于我们假定干扰项和初始状态不相关，则干扰项  $v_t$  和任何时刻的状态都不相关，干扰项  $w_t$  和  $t$  时刻之前的状态都不相关。
- 如果干扰服从正态分布 (高斯过程)，则没有序列相关和相互独立是等价的。
- $w_t$  和  $v_t$  任意时刻不相关假设可以进一步放松，比如放松为可以同期相关。
- 系数矩阵  $F$ ,  $A$  和  $H$  可以是时变的，协方差矩阵  $W$  和  $V$  也可以是时变的。
- 更一般的状态空间模型，参见 Hamilton (1994a, p399)，参数是随机的，例如

$$z_t = F_t z_{t-1} + w_t$$

$$y_t = a_t + H_t z_t + v_t$$

其中向量  $\mathbf{a}_t = \mathbf{a}(\mathbf{x}_t)$  与矩阵  $\mathbf{F}_t = \mathbf{F}(\mathbf{x}_t)$  和  $\mathbf{H}_t = \mathbf{H}(\mathbf{x}_t)$  的元素是  $\mathbf{x}_t$  的函数。此外, 状态方程还可以包含外生变量, 而且允许非线性的形式。因此, 状态空间模型是非常灵活的, 可能极其复杂。

描述  $y_t$  动态过程的状态空间模型的具体形式并不唯一; 假设  $\mathbf{T}$  为可逆矩阵, 令

$$\mathbf{z}_{*t} = \mathbf{T}\mathbf{z}_t \quad (12.2)$$

注意到状态向量  $\mathbf{z}_t$  与其线性变换  $\mathbf{z}_{*t}$  在信息上是等价的, 状态空间模型 (12.1) 可以等价表示成

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_{*t} &= \mathbf{F}_* \mathbf{z}_{*t-1} + \mathbf{w}_{*t} \\ \mathbf{y}_t &= \mathbf{A}\mathbf{x}_t + \mathbf{H}_* \mathbf{z}_{*t} + \mathbf{v}_t \end{aligned}$$

其中

$$\mathbf{F}_* = \mathbf{T}\mathbf{F}\mathbf{T}^{-1} \quad \mathbf{H}_* = \mathbf{H}\mathbf{T}^{-1} \quad \mathbf{w}_{*t} = \mathbf{T}\mathbf{w}_t$$

### §12.1.2 例子

状态空间模型 (12.1) 囊括了不少经济计量模型, 为了增加对状态空间模型的感性理解, 我们先介绍几个有趣的例子: 随机系数的 CAPM, ARMA 模型和动态消费模型。

#### 一、随机系数的 CAPM

如下的 CAPM 是系数时变的:

$$\begin{aligned} r_t - r_0 &= \alpha_t + \beta_t (r_{tM} - r_0) + v_t & v_t &\sim N(0, \sigma_v^2) \\ \alpha_t &= \alpha_{t-1} + w_{t1} & w_{t1} &\sim N(0, \sigma_1^2) \\ \beta_t &= \beta_{t-1} + w_{t2} & w_{t2} &\sim N(0, \sigma_2^2) \end{aligned}$$

其中  $r_t$  是资产的收益率,  $r_0$  和  $r_{tM}$  分别是无风险资产和市场的收益率, 系数  $\alpha_t$  和  $\beta_t$  服从随机游走过程。将随机系数  $\alpha_t$  和  $\beta_t$  作为状态变量, 对应于状态空间模型 (12.1), 显然有

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_t &= \begin{bmatrix} \alpha_t \\ \beta_t \end{bmatrix} & \mathbf{F} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} & \mathbf{w}_t &= \begin{bmatrix} w_{t1} \\ w_{t2} \end{bmatrix} \\ \mathbf{y}_t &= E(r_t) - r_0 & \mathbf{A} &= 0 & \mathbf{x}_t &= 0 & \mathbf{H}_t &= \begin{bmatrix} 1 & E(r_{tM}) - r_0 \end{bmatrix} & \mathbf{v}_t &= v_t \\ \mathbf{W} &= \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 \end{bmatrix} & \mathbf{V} &= \sigma_v^2 \end{aligned}$$

请注意, 状态空间模型<sup>1</sup>似乎很庞大, 但需要估计的参数只有三个, 即  $\sigma_v^2$ ,  $\sigma_1^2$  和  $\sigma_2^2$ 。

#### 二、ARMA 模型

对于 MA(1) 模型

$$y_t = \mu + e_t + me_{t-1} \quad e_t \sim \text{iid}(0, \sigma^2) \quad (12.3)$$

该模型可以写成如下状态空间模型: 状态方程

$$\begin{bmatrix} e_t \\ e_{t-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{t-1} \\ e_{t-2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_t \\ 0 \end{bmatrix}$$

<sup>1</sup>CAPM 中,  $\mathbf{H}_t$  为解释变量,  $\mathbf{z}_t$  是随机系数。而写成状态空间模型时, 信号方程中  $\mathbf{H}_t$  为随机系数,  $\mathbf{z}_t$  为解释变量。

信号方程

$$y_t = \mu + \begin{bmatrix} 1 & m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_t \\ e_{t-1} \end{bmatrix}$$

对比状态空间模型 (12.1), 我们有

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_t &= \begin{bmatrix} e_t \\ e_{t-1} \end{bmatrix} & \mathbf{F} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} & \mathbf{w}_t &= \begin{bmatrix} e_t \\ 0 \end{bmatrix} \\ y_t &= y_t & \mathbf{A} &= \mu & \mathbf{x}_t &= 1 & \mathbf{H} &= \begin{bmatrix} 1 & m \end{bmatrix} & \mathbf{v}_t &= 0 \\ \mathbf{W} &= \begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & \mathbf{V} &= 0 \end{aligned}$$

不难发现, 式 (12.3) 的 MA(1) 过程还可以表示成

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} e_t + me_{t-1} \\ me_t \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{t-1} + me_{t-2} \\ me_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_t \\ me_t \end{bmatrix} \\ y_t &= \mu + \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_t + me_{t-1} \\ me_t \end{bmatrix} \end{aligned}$$

以上的三种表示形式 (常见的 MA(1) 形式和两种状态空间表示法) 都表示同一模型, 可以根据需要选择模型的表示形式。

更一般地, 对于单变量的 ARMA(p,q) 模型 (参见第 232 页 §5.2 节)

$$\begin{aligned} u_t &= a_1 u_{t-1} + a_2 u_{t-2} + \cdots + a_p u_{t-p} + e_t \\ &+ m_1 e_{t-1} + m_2 e_{t-2} + \cdots + m_q e_{t-q} \end{aligned}$$

记

$$Z = \max(p, q + 1)$$

则 ARMA(p,q) 可以用滞后算子表示为

$$\left(1 - \sum_{i=1}^Z a_i L^i\right) u_t = \left(1 + \sum_{i=1}^Z m_i L^i\right) e_t$$

其中当  $i > p$  时,  $a_i = 0$ ; 当  $i > q$  时,  $m_i = 0$ 。因此, 我们得到状态空间模型

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_t &= \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \cdots & a_{Z-1} & a_Z \\ 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{z}_{t-1} + \begin{bmatrix} e_t \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \\ u_t &= \begin{bmatrix} 1 & m_1 & m_2 & \cdots & m_{Z-1} \end{bmatrix} \mathbf{z}_t \end{aligned} \quad (12.4)$$

关于 ARMA(p,q) 模型的状态空间模型表示:

- 1)  $\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & m_1 & m_2 & \cdots & m_{Z-1} \end{bmatrix}$  中,  $m_i$  的下标只到  $Z-1$ 。此外, 请注意  $m_Z = 0$ 。
- 2) 状态方程中, 除了第一个状态方程, 其他状态方程没有干扰项, 只是简单的状态转移。
- 3) 状态空间模型 (12.4) 中, 需要估计的参数和 ARMA 模型的一一对应, 数目上相同。



4) Tsay (2005, p512-16) 给出了更多的表示形式, 例如

$$\mathbf{z}_t = \begin{bmatrix} a_1 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ a_2 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{Z-1} & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ a_Z & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \mathbf{z}_{t-1} + \begin{bmatrix} 1 \\ m_1 \\ m_2 \\ \vdots \\ m_{Z-1} \end{bmatrix} e_t \quad (12.5)$$

$$u_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \mathbf{z}_t$$

练习: 请证明式 (12.4) 和式 (12.5) 是等价的, 并对比两种表示形式中的  $z_{t1}$ 。此外, 请给出  $Z = 3$  时的转换矩阵  $\mathbf{T}$  (第 567 页式 12.2)。

### 三、动态消费模型

在研究理性预期的动态消费函数时, 预期收入  $Y_t^*$  是不可观测的, 假设预期收入的产生方法为

$$Y_t^* = rY_{t-1}^* + (1-r)Y_t \quad (12.6)$$

其中  $0 \leq r \leq 1$ ,  $Y_t$  为  $t$  期的收入。假设消费方程为

$$C_t = a + bY_t^* + e_t \quad (12.7)$$

其中  $C_t$  是  $t$  期的消费。如果把预期收入  $Y_t^*$  看成状态变量, 则预期收入方程 (12.6) 为状态方程 (包含外生变量  $Y_t$  和系数限制, 但没有干扰项), 消费方程 (12.7) 为信号方程。

我们知道, 状态空间模型的鲜明特点是能够利用不可观测的变量来建立动态模型, 并进行估计和分析。如果不采用状态空间模型, 注意到预期收入方程 (12.6) 中

$$Y_t^* = \frac{1-r}{1-rL} Y_t = (1-r) \sum_{j=0}^{\infty} r^j L^j Y_t = (1-r) \sum_{j=0}^{\infty} r^j Y_{t-j}$$

表明消费方程 (12.7) 是几何滞后模型 (Geometric Lag Model):

$$C_t = a + (1-r)b \sum_{j=0}^{\infty} r^j Y_{t-j} + e_t$$

该模型有无穷多阶的滞后, 直接估计是不可能的。由于

$$C_t = a + bY_t^* + e_t = a + b \frac{1-r}{1-rL} Y_t + e_t$$

我们得到非线性的 ARMA 形式

$$(1-rL)C_t = (1-r)a + (1-r)bY_t + (1-rL)e_t$$

当前, EViews 还不能估计含有 MA 项的非线性方程。