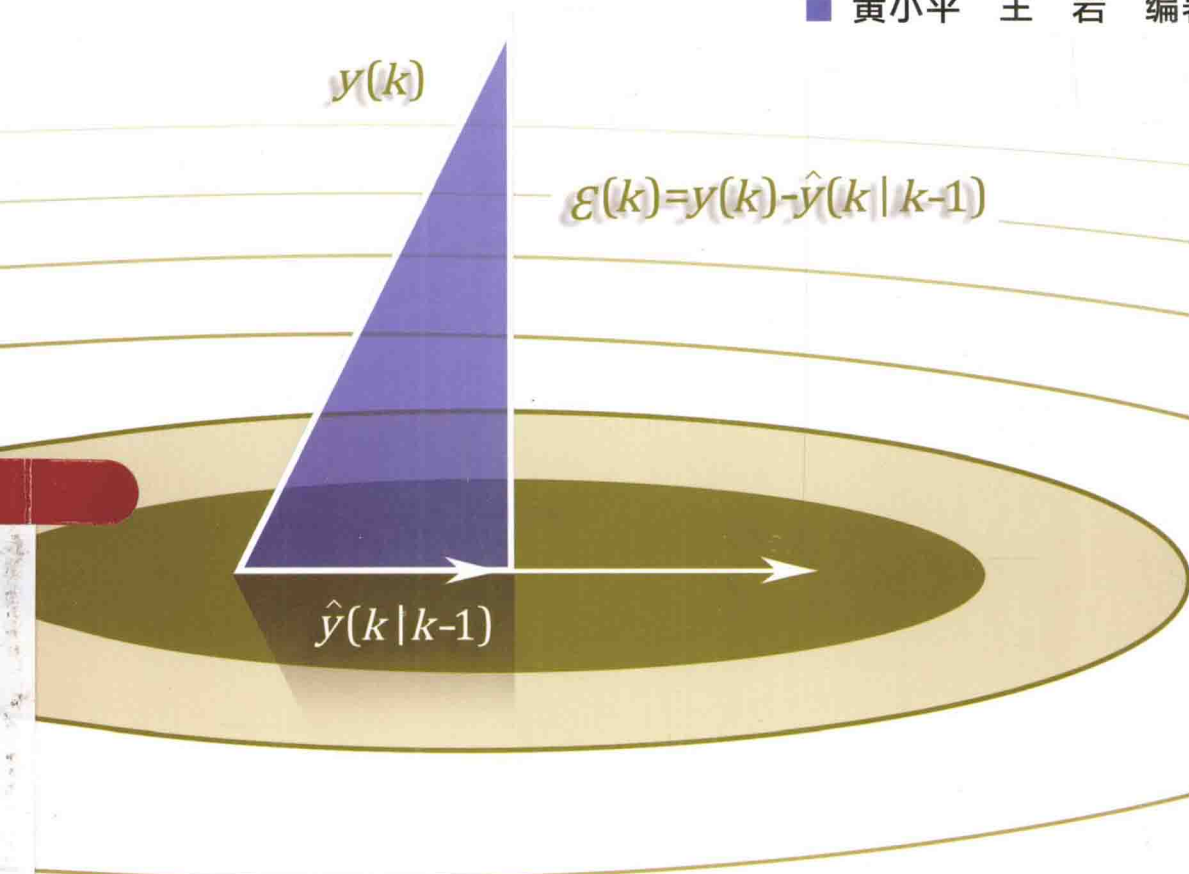


卡尔曼滤波 原理及应用

◎ ————— MATLAB仿真

■ 黄小平 王 岩 编著



卡尔曼滤波原理及应用

——MATLAB 仿真

黄小平 王 岩 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍数字信号处理中的卡尔曼 (Kalman) 滤波算法及在相关领域应用的相关内容。全书共 7 章。第 1 章为绪论。第 2 章介绍 MATLAB 算法仿真的编程基础。第 3 章介绍线性 Kalman 滤波。第 4 章讨论扩展 Kalman 滤波, 并介绍其在目标跟踪和制导领域的应用和算法仿真。第 5 章介绍 UKF 滤波算法, 同时也给出其应用领域内的算法仿真实例。第 6 章介绍了交互多模型 Kalman 滤波算法。第 7 章介绍 Simulink 环境下, 如何通过模块库和 S 函数构建 Kalman 滤波器, 并给出了系统是线性和非线性两种情况的滤波器设计方法。

本书可以作为电子信息类各专业高年级本科生和硕士、博士研究生数字信号处理课程或者 Kalman 滤波原理的教材, 也可以作为从事雷达、语音、图像等传感器数字信号处理的教师和科研人员的参考书。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

卡尔曼滤波原理及应用: MATLAB 仿真 / 黄小平, 王岩编著. —北京: 电子工业出版社, 2015.7
ISBN 978-7-121-26310-1

I. ①卡… II. ①黄… ②王… III. ①卡尔曼滤波—系统仿真—Matlab 软件 IV. ①O211.64-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 127904 号

责任编辑: 刘海艳

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 11.75 字数: 264 千字

版 次: 2015 年 7 月第 1 版

印 次: 2015 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

随着科技的发展，在雷达、声呐、通信、视频图像处理、故障诊断等领域，对信号检测和状态参数估计的研究，有着重要的价值。在所有数字信号处理应用中，传感器数据采集是重要的一环。所有传感器测量的数据都受到噪声的污染，噪声不能消除，只能尽最大限度地降低。例如，在目标跟踪中，传感器一般是测量观测站与目标之间的距离、角度等信息，这些信息往往会受到高斯、非高斯噪声的污染，导致观测站不能准确地估计目标的状态，那么这时对测量数据进行滤波就显得很有必要了。

卡尔曼 (Kalman) 滤波是噪声处理的利器，目前关于卡尔曼滤波的论文非常多，专著也不少，但是在阐述 Kalman 滤波原理时，大多文献只停留在公式推导和文字介绍上，而且各作者公式表示习惯不一样导致要理解 Kalman 滤波原理非常困难，在编程仿真上也存在诸多疑问，因此很多读者在刚开始接触该滤波算法时总是疑虑重重。鉴于此，本书在介绍 Kalman 滤波原理时，加入了大量的应用仿真实例。本书写作时尽量避免繁缛的公式推导，用通俗易懂的语言文字，配用详细的 MATLAB 仿真程序和中文注释，读者可以对照核心公式和程序注释理解卡尔曼滤波原理。

本书的主要内容是卡尔曼滤波的状态估计方法：应用在线性领域中，主要是经典卡尔曼滤波；而应用在非线性系统中，主要是扩展卡尔曼滤波和无迹 Kalman 滤波。当然在很多文献中有各种卡尔曼滤波的衍生算法，例如信息卡尔曼、强跟踪卡尔曼、集合卡尔曼、容积卡尔曼和神经网络卡尔曼等。笔者认为，其他衍生算法都是以经典卡尔曼为母体的，只要掌握经典 Kalman 滤波算法的核心和精髓即能触类旁通，学一知百。同样地，在研究各种衍生算法之前，必须先掌握经典算法。

在应用实例方面，读者一定要掌握系统建模问题。所谓系统建模，是指 Kalman 滤波中的状态方程和观测方程的建立。这两个方程中的状态、矩阵参数的设置不同，就代表着不同的系统。经典卡尔曼滤波和交互多模型卡尔曼滤波属于线性滤波器，这些算法的应用领域主要有温度测量、GPS 导航、石油地震勘探、视频图像中的目标检测和跟踪。非线性滤波器主要有 EKF 和 UKF 算法，应用实例主要是

纯方位、纯距离的目标跟踪、寻的制导系统。在工程应用中，系统模型是千奇百怪的，本书不可能列举所有的应用。鉴于此本书给出了通用的一维、二维和四维状态系统滤波问题，读者掌握这些通用模型仿真，在遇到其他信号处理模型时即可得心应手了。

参加本书编写的还有王岩、聂金平、闫芬菲、陈冰洁、田龙飞、李超、王夏静、钱琛、杨刚、李超（小）、许蓓蓓。本书的编辑和勘误，得到了北航同课题组实验室的学长的帮助，感谢王驭风、刘涛、徐建伟的指导。另外特别感谢北京理工大学何绍敏的全力相助，感谢一直支持和帮我修改错误的各位网友！

希望本书对于从事相关领域的研究者有所帮助。由于作者的水平有限，其中难免有疏漏和不足之处，恳请读者提出宝贵的意见，我的邮箱 xiaoping_444@126.com。



2015年4月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 滤波的基础知识	1
1.2 Kalman 滤波的背景	1
1.3 Kalman 滤波的发展过程	2
1.4 Kalman 滤波的应用领域	4
第 2 章 MATLAB 仿真基础	6
2.1 MATLAB 简介	6
2.1.1 MATLAB 发展历史	6
2.1.2 MATLAB 7.1 的系统简介	7
2.1.3 M 文件编辑器的使用	10
2.2 数据类型和数组	12
2.2.1 数据类型概述	12
2.2.2 数组的创建	13
2.2.3 数组的属性	15
2.2.4 数组的操作	16
2.2.5 结构体和元胞数组	19
2.3 程序设计	21
2.3.1 条件语句	21
2.3.2 循环语句	23
2.3.3 函数	25
2.3.4 画图	27
2.4 小结	29
第 3 章 线性 Kalman 滤波	30
3.1 Kalman 滤波原理	30
3.1.1 射影定理	30
3.1.2 Kalman 滤波器	33

3.1.3	Kalman 滤波的参数处理	37
3.2	Kalman 滤波在温度测量中的应用	39
3.2.1	原理介绍	39
3.2.2	MATLAB 仿真程序	42
3.3	Kalman 滤波在自由落体运动目标跟踪中的应用	44
3.3.1	状态方程的建立	44
3.3.2	MATLAB 仿真程序	47
3.4	Kalman 滤波在船舶 GPS 导航定位系统中的应用	50
3.4.1	原理介绍	50
3.4.2	MATLAB 仿真程序	53
3.5	Kalman 滤波在石油地震勘探中的应用	55
3.5.1	石油地震勘探白噪声反卷积滤波原理	55
3.5.2	石油地震勘探白噪声反卷积滤波仿真实现	57
3.5.3	MATLAB 仿真程序	58
3.6	Kalman 滤波在视频图像目标跟踪中的应用	60
3.6.1	视频图像处理的基本方法	61
3.6.2	Kalman 滤波对自由下落的皮球跟踪应用	68
3.6.3	目标检测 MATLAB 程序	70
3.6.4	Kalman 滤波视频跟踪 MATLAB 程序	72
第 4 章	扩展 Kalman 滤波	77
4.1	扩展 Kalman 滤波原理	77
4.1.1	局部线性化	77
4.1.2	线性 Kalman 滤波	79
4.2	简单非线性系统的扩展 Kalman 滤波器设计	80
4.2.1	原理介绍	80
4.2.2	标量非线性系统 EKF 的 MATLAB 程序	83
4.3	EKF 在目标跟踪中的应用	84
4.3.1	目标跟踪数学建模	84
4.3.2	基于观测距离的 EKF 目标跟踪算法	85
4.3.3	基于距离的目标跟踪算法 MATLAB 程序	87

4.3.4	基于 EKF 的纯方位目标跟踪算法	89
4.3.5	纯方位目标跟踪算法 MATLAB 程序	91
4.4	EKF 在纯方位寻的导弹制导中的应用	94
4.4.1	三维寻的制导系统	94
4.4.2	EKF 在寻的制导问题中的算法分析	96
4.4.3	仿真结果	97
4.4.4	寻的制导 MATLAB 程序	99
第 5 章	无迹 Kalman 滤波	103
5.1	无迹 Kalman 滤波原理	103
5.1.1	无迹变换	103
5.1.2	无迹 Kalman 滤波算法实现	105
5.2	无迹 Kalman 滤波在单观测站目标跟踪中的应用	107
5.2.1	原理介绍	107
5.2.2	仿真程序	108
5.3	UKF 在匀加速度直线运动目标跟踪中的应用	111
5.3.1	原理介绍	111
5.3.2	仿真程序	113
5.4	UKF 与 EKF 算法的应用比较	116
第 6 章	交互多模型 Kalman 滤波	119
6.1	交互多模型 Kalman 滤波原理	119
6.2	交互多模型 Kalman 滤波在目标跟踪中的应用	122
6.2.1	问题描述	122
6.2.2	IMM 滤波器设计	123
6.2.3	仿真分析	124
6.2.4	IMM Kalman 滤波算法 MATLAB 仿真程序	126
第 7 章	Kalman 滤波的 Simulink 仿真	132
7.1	Simulink 概述	132
7.1.1	Simulink 启动	132
7.1.2	Simulink 仿真设置	134
7.1.3	Simulink 模块库简介	139

7.2	S 函数	143
7.2.1	S 函数原理	143
7.2.2	S 函数的控制流程	147
7.3	线性 Kalman 的 Simulink 仿真	148
7.3.1	一维数据的 Kalman 滤波处理	148
7.3.2	状态方程和观测方程的 Simulink 建模	154
7.3.3	基于 S 函数的 Kalman 滤波器设计	160
7.4	非线性 Kalman 滤波	167
7.4.1	基于 Simulink 的 EKF 滤波器设计	167
7.4.2	基于 Simulink 的 UKF 滤波器设计	174
7.5	小结	179

第 1 章 绪 论

1.1 滤波的基础知识

什么是滤波？滤波一词起源于通信理论，它是从含有干扰的接收信号中提取有用信号的一种技术。而更广泛地，滤波是指利用一定的手段抑制无用信号，增强有用信号的数字信号处理过程。

无用信号，也叫噪声，是指观测数据对系统没有贡献或者起干扰作用的信号。在通信中，无用信号表现为特定波段频率、杂波；在传感器数据测量中，无用信号表现为幅度干扰。例如，在温度测量中，传感器测量值与真实温度之间往往有一定的随机波动，这个波动就是随机干扰。其实噪声是一个随机过程，而随机过程有其功率谱密度函数，功率谱密度函数的形状决定了噪声的“颜色”。如果这些干扰信号幅度分布服从高斯分布，而它的功率谱密度又是均匀分布的，则称它为高斯白噪声。高斯白噪声是大多数传感器所具有的一种测量噪声。

在工程应用中，如雷达测距、声呐测距、图像采集、声音录制等，只要是传感器采集和测量的数据，都携带噪声干扰。这种影响有的很微小，有的则会使信号变形、失真，有的严重导致数据不可用。那么滤波也不是万能的，滤波只能最大限度降低噪声的干扰，即有的滤波是不能完全消除噪声，有的则可能完全消除。

1.2 Kalman 滤波的背景

滤波理论就是在对系统可观测信号进行测量的基础上，根据一定的滤波准则，采用某种统计量最优方法，对系统的状态进行估计的理论和方法。所谓最优滤波或最优估计是指在最小方差意义下的最优滤波或估计，即要求信号或状态的最优估值应与相应的真实值的误差的方差最小。经典最优滤波理论包括 Wiener（维纳）滤波理论和 Kalman（卡尔曼）滤波理论。前者采用频域方法，后者采用时域状态空间方法。

经典 Wiener 滤波方法是由控制论创始人 N. Wiener 在 20 世纪 40 年代初（第

二次世界大战期间) 由于研究火炮控制系统的需要而提出的。它是一种频域滤波方法, 它的基本工具是平稳随机过程谱分解。其缺点和局限性是要求信号为平稳随机过程, 要求存储全部历史数据。滤波器是非递推的, 计算量和存储量大, 难以在工程上实现, 不便于实时应用, 它仅适用于单通道平稳随机信号。人们试图将 Wiener 滤波推广到非平稳和多维的情况, 都因无法突破计算上的困难而难以推广和应用。

采用频域设计法是造成 Wiener 滤波器设计困难的根本原因。因此人们逐渐转向寻求在时域内直接设计最优滤波器的方法。Kalman 在 20 世纪 60 年代初提出了 Kalman 滤波方法。Kalman 滤波方法是一种时域方法。它把状态空间的概念引入随机估计理论中, 把信号过程视为白噪声作用下的一个线性系统的输出, 用状态方程来描述这种输入-输出关系, 估计过程中利用系统状态方程、观测方程和白噪声激励, 即系统过程噪声和观测噪声, 它们的统计特性形成滤波算法。由于所用的信息都是时域内的量, 所以 Kalman 滤波不但可以对平稳的一维随机过程进行估计, 也可以对非平稳的、多维随机过程进行估计。同时 Kalman 滤波算法是递推的, 便于在计算机上实现实时应用, 克服了经典 Wiener 滤波方法的缺点和局限性。

在实际应用中, Kalman 滤波是统计估计理论的里程碑式的进展, 同时也是 20 世纪最伟大的发现之一。它成为众多电子系统体系中与“硅”一样不可或缺的元素。它最直接的应用是在复杂动态系统, 例如连续制导过程、飞机、船舶、宇宙飞船等的控制问题上。为了实现对动态系统的控制, 首先需要了解被控对象的实时状态。对于复杂动态系统应用, 通常无法测量每一个需要控制的变量, 而 Kalman 滤波能够利用这些有限的、不直接的、包含噪声的测量信息去估计那些缺失的信息。此外, Kalman 滤波也被用于预测动态系统未来的变化趋势, 例如洪流流量、星体运动轨迹、商品交换价格等。

1.3 Kalman 滤波的发展过程

我们知道, 估计的准则不同, 会导致不同的估计方法。同样, 利用观测序列和观测信号的方式不同, 也会导致不同的估计方法。由于这两个方面的原因, 滤波估计经历了最小二乘法, Wiener 滤波和 Kalman 滤波的发展而不断地完善。

最早的估计方法是德国著名数学家、物理学家、天文学家、大地测量学家——约翰·弗里德里希·高斯(C.F.Guass, 1777—1855 年) 于 1795 年在《天

体运动理论》一书中提出的最小二乘法。最小二乘法没有考虑被估参数和观测数据的统计特性，因此这种方法不是最优估计。由于最小二乘法在计算上比较简单，使得它成为一种应用最广泛的估计方法。1912年英国统计与遗传学家罗纳德·费希尔（Ronald Fisher, 1890—1962年）提出了极大似然估计方法，从概率密度出发来考虑估计问题，对估计理论做出了重大贡献。

对于随机过程的估计，到20世纪30年代才积极发展起来。1940年，控制论的创始人之一——美国学者诺伯特·维纳（Norbert Wiener, 1894—1964年）根据火力控制上的需要提出一种在频域中设计统计最优滤波器的方法，该方法被称为Wiener滤波。同一时期，苏联杰出数学家——安德列·柯尔莫哥洛夫（Andrey Nikolaevich Kolmogorov, 1903—1987年）提出并初次解决广义离散平稳随机序列的预测和外推问题。Wiener滤波和柯尔莫哥洛夫滤波方法开创了一个应用统计估计方法研究随机控制问题的新领域。由于Wiener滤波采用频域设计法，运算复杂，解析求解困难，整批数据处理要求存储空间大，造成其适用范围极其有限，仅适用于一维平稳随机过程的信号滤波。

Wiener滤波的缺陷促使人们寻求在时域内直接设计最优滤波器的新方法，其中匈牙利裔美国数学家——鲁道夫·卡尔曼（Rudolf Emil Kalman, 1930—）的研究最具有代表性。最早实现Kalman滤波器的是斯坦利·施密特（Stanley Schmidt）。卡尔曼在NASA埃姆斯研究中心访问时发现施密特的方法对于解决阿波罗计划的轨道预测很有用，后来阿波罗飞船的导航计算机使用了这种滤波器。1960年，卡尔曼提出了离散系统Kalman滤波；1961年，他又与布西（R.S.Bucy）合作，把这一滤波方法推广到连续时间系统中去，从而形成Kalman滤波设计理论。这种滤波方法采用与Wiener滤波相同的估计准则，二者的基本原理是一致的。但是，Kalman滤波是一种时域滤波方法，采用状态空间方法描述系统，算法采用递推形式，数据存储量小，不仅可以处理平稳随机过程，也可以处理多维和非平稳随机过程。

正是由于Kalman滤波具有以上其他滤波方法所不具备的优点，Kalman滤波理论一提出立即应用到工程实际当中。例如，阿波罗登月计划和C-5A飞机导航系统，就是Kalman滤波早期应用中最成功的实例。随着电子计算机的迅速发展和广泛应用，Kalman滤波在工程实践中特别是在航天空间技术中迅速得到应用。目前Kalman滤波理论作为一种最重要的最优估计理论被广泛应用于各领域，如惯性导航、制导系统、全球定位系统、目标跟踪系统、通信与信号处理、金融等。

Kalman 最初提出的滤波基本理论只适用于线性系统，并且要求观测方程也必须是线性的。在此后的多年间，Bucy 等人致力研究 Kalman 滤波理论在非线性系统和非线性观测下的扩展 Kalman 滤波，扩展了 Kalman 滤波的适用范围。扩展 Kalman 滤波 (Extended Kalman Filter, EKF) 是一种应用广泛的非线性系统滤波方法。这种滤波器的思想是将非线性系统一阶线性化，然后利用标准 Kalman 滤波，其存在的问题是线性化过程会带来近似误差。

1999 年，S.Julier 提出无迹 Kalman 滤波 (Unscented Kalman Filter, UKF)，中文释义是无损 Kalman 滤波、无迹 Kalman 滤波或去芳香 Kalman 滤波。它是以 UT 变换为基础，采用 Kalman 线性滤波的框架，摒弃了对非线性函数进行线性化的传统做法。对于一步预测方程，使用 UT 变换来处理均值和协方差的非线性传递，就成为 UKF 算法。UKF 无需像 EKF 那样要计算 Jacobian 矩阵，无需忽略高阶项，因而计算精度较高。

Kalman 滤波应用范围广泛，设计方法也简单易行，但它必须在计算机上执行。随着微型计算机的普及应用，人们对 Kalman 滤波的数值稳定性、计算效率、实用性和有效性的要求越来越高。由于计算机的字长有限，使计算中舍入误差和截断误差累积、传递，造成误差方差阵失去对称正定性，造成数值不稳定。在 Kalman 滤波理论的发展过程中，为改善 Kalman 滤波算法的数值稳定性，并提高计算效率，人们提出平方根滤波、UD 分解滤波等一系列数值鲁棒的滤波算法。

传统的 Kalman 滤波是建立在模型精确和随机干扰信号统计特性已知基础上的。对于一个实际系统，往往存在着模型不确定性或干扰信号统计特性不完全已知。这些不确定因素使得传统的 Kalman 滤波算法失去最优性，估计精度大大降低，严重时会引起滤波发散。近些年，人们将鲁棒控制的思想引入到滤波中来，形成了鲁棒滤波理论，比较有代表性的是 H_∞ 滤波。

信息融合和神经网络也有其他的许多优点，它们和 Kalman 滤波的结合在控制和估计领域内也同样是一个重要的发展方向。

以上介绍了 Kalman 滤波的发展过程，相信随着科技的不断发展进步，其理论将不断完善，应用领域将更加广泛。

1.4 Kalman 滤波的应用领域

一般地，只要跟时间序列和高斯白噪声有关或者能建立类似的模型的系统，

都可以利用 Kalman 滤波来处理噪声问题，都可以用其来预测、滤波。Kalman 滤波主要应用领域有以下几个方面。

- (1) 导航制导、目标定位和跟踪领域。
- (2) 通信与信号处理、数字图像处理、语音信号处理。
- (3) 天气预报、地震预报。
- (4) 地质勘探、矿物开采。
- (5) 故障诊断、检测。
- (6) 证券股票市场预测。

第 2 章 MATLAB 仿真基础

MATLAB 是美国 MathWorks 公司出品的商业数学软件，用于算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境，主要包括 MATLAB 和 Simulink 两大部分。经过多年的发展和多个版本的升级，如今 MATLAB 的功能已经非常强大了，它是当今最流行的计算机仿真软件之一。

有一定编程基础的读者可以跳过本章的学习，直接学习第 3 章。

2.1 MATLAB 简介

2.1.1 MATLAB 发展历史

MATLAB 的产生是与数学计算紧密联系在一起。在 1980 年，美国新墨西哥州大学计算机系主任 Cleve Moler 在给学生讲授线性代数课程时，发现学生在高级语言编程上花费很多时间，于是着手编写供学生使用的 Fortran 子程序库接口程序，取名为 MATLAB (MATrix LABoratory 的前三个字母的组合，意思为“矩阵实验室”)。这个程序获得了很大的成功，受到学生的广泛欢迎。

20 世纪 80 年代初，Moler 等一批数学家与软件专家组建了 MathWorks 软件开发公司，继续从事 MATLAB 的研究和开发。1984 年推出第一个 MATLAB 商业版本，其核心是用 C 语言编写的。然后，MATLAB 又增加了丰富多彩的图形图像处理、多媒体、符号运算，以及其他流行软件的接口功能，至此 MATLAB 的功能逐渐强大。

具有划时代意义的是在 1992 年，MathWorks 公式正式推出 MATLAB 1.0 版本，到了 1999 年 MATLAB 5.3 版本进一步改进了原有功能，同时 Simulink 3.0 版本也达到较高水准。在 2000 年 10 月，MATLAB 6.0 版本推出，其无论是在操作界面，还是在程序发布窗口、历史信息窗口和变量管理窗口上，在操作和使用上都给用户提供了极大的方便。2001 年，MathWorks 公式又推出了 MATLAB 6.1 版/Simulink 4.1 版，其虚拟现实工具箱给仿真结果在三维视景下显示带来了新的解决方案。2003

年6月推出了MATLAB Release 13, 即MATLAB 6.5/Simulink 5.0, 在核心数值算法、界面设计、外部接口和应用等诸多方面有极大改进。2004年正式推出MATLAB Release 14, 即MATLAB 7.0/Simulink 6.0, 这是一个具有里程碑意义的版本。此后, 几乎每年的3月和9月MathWorks公司都会推出当年的a版和b版。目前的最新版本是MATLAB 2014a。

MATLAB是目前国际上最流行的科学计算与工程仿真软件工具之一, 现在的MATLAB已经不仅仅是过去的“矩阵实验室”了, 它已经成为具有广泛应用前景的、全新的计算机高级语言, 可以说它是“第四代”计算机语言。自20世纪90年代以来, 美国和欧洲各国家已将MATLAB正式列入研究生和本科生的教学计划, MATLAB软件已经成为应用代数、自动控制理论、数理统计、数字信号处理、时间序列分析和动态系统仿真等课程的基本教学工具, 成为学生所必须掌握的基本软件之一。在研究所和工业界, MATLAB也成为工程师们必须掌握的一种工具, 被认为是进行高效研究与开发的首选软件工具。

2.1.2 MATLAB 7.1的系统简介

自MATLAB 6.5版本以后, 各版本之间的界面风格都很相似, 操作原理也是大同小异的。无论你采用哪一本版本, 使用及操作都不会有很大的变化。本书采用的是2005年9月发布的MATLAB 7.1版本。在安装过程中, 如果操作系统是Windows XP, 那会很顺利; 如果用的是Windows Vista及更高版本的操作系统, 那么在安装好并运行MATLAB软件时, 会出现如下启动错误, 如图2.1所示。

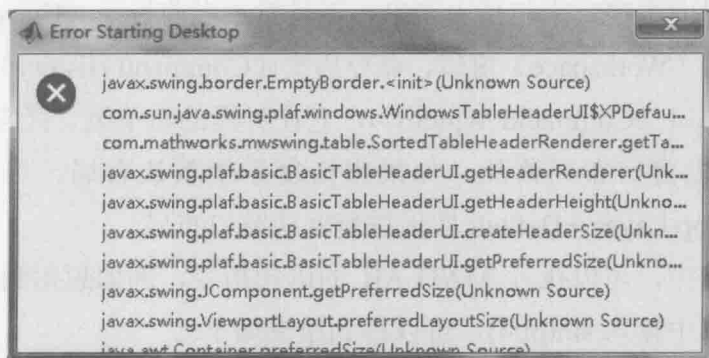


图2.1 运行MATLAB软件时的系统启动错误

这时候请右击桌面的快捷图标, 或者单击“开始”→“所有程序”中找到

MATLAB 后单击“属性”，弹出如图 2.2 所示对话框，勾选“以兼容模式运行这个程序”，在下拉列表框中选择 Windows Vista 即可，最后单击“确定”按钮。重新运行后能正常启动和使用。

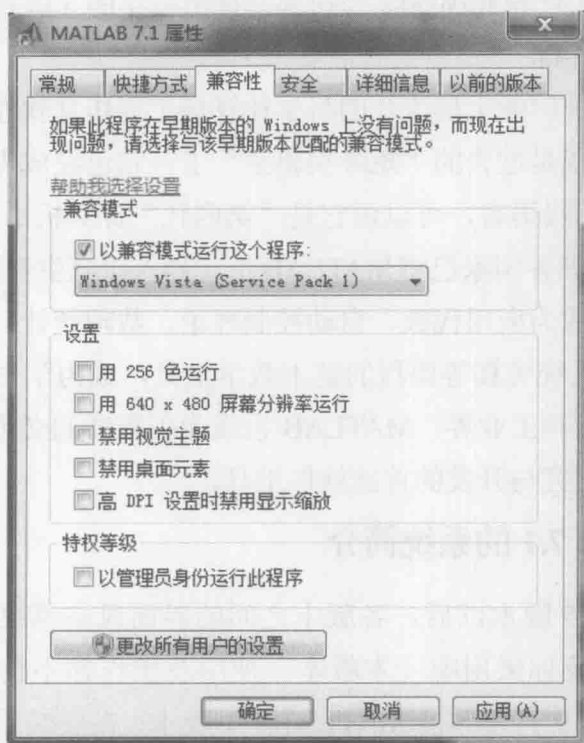


图 2.2 兼容模式设置

MATLAB 7.1 的系统界面如图 2.3 所示，它与之前的 7.0 版、6.5 版系统界面相差无几。系统界面主窗口中包括主菜单、工具栏、当前目录（Current Directory）窗口、工作空间（Workspace）窗口、命令历史（Command History）窗口等。最核心的则是命令窗口（Command Window），它在界面的右下侧。经常地，在移动各窗口时候会发生窗口布局紊乱，如果想恢复系统默认布局，可以单击主菜单 Desktop→Desktop Layer→Default 实现恢复默认窗口布局。

在命令窗口中，可以执行 MATLAB 的语句指令，例如想得到 $\sin(\pi/4)$ 的值，可以在命令窗口中输入 `sin(pi/4)`，可以得到结果如下。

```
>> sin(pi/4)
ans = 0.7071
```