

高等院校密码信息安全类专业系列教材
中国密码学会教育工作委员会推荐教材

信息隐藏与数字水印 实验教程

杨 榆 主编 钮心忻 主审

XINXI YINCANG YU SHUZI SHUIYIN
SHIYAN JIAOCHENG



国防工业出版社
National Defense Industry Press

高等院校密码信息安全类专业系列教材
中国密码学会教育工作委员会推荐教材

信息隐藏与数字水印 实 验 教 程

杨 榆 主编
钮心忻 主审

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

信息隐藏与数字水印是信息安全领域的研究热点。本书主要内容包括图像、音频、文本、网络协议和软件等各种载体的信息隐藏与数字水印实验,常见的隐写算法分析和攻击,比较典型的隐写工具的原理和使用方法。同时本书还结合作者多年的教学经验,整理了隐写分析与数字水印课程常见的复习参考题。

本书可作为高等院校信息安全专业、密码学专业、计算机专业的高年级本科生和研究生的课内实验、课程设计和毕业设计指导书,同时可作为科研院所相关专业的科技工作者进行信息隐藏与数字水印研发的入门参考书。

图书在版编目(CIP)数据

信息隐藏与数字水印实验教程 / 杨榆主编. —北京:国防工业出版社, 2010.1

(高等院校密码信息安全类专业系列教材)

ISBN 978-7-118-06575-6

I. ①信... II. ①杨... III. ①电子计算机-密码术-高等学校-教材 IV. ①TP309.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 188021 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13½ 字数 305 千字

2010 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

总 序

信息系统所面临的各种安全威胁日益突出,信息安全问题已成为涉及国家政治、军事、经济和文教等诸多领域的战略安全问题。我国政府对网络与信息安全问题高度重视,国办印发的文件《关于网络信任体系建设的若干意见》明确指出了要特别重视网络安全的6方面内容;中办、国办印发的《国家2006年至2020年长期科学发展规划》中也突出了对各种网络安全问题的关注,将建设国家信息安全保障体系列为我国信息化发展的战略重点;国家“十一五”计划中也包含了提升国家信息安全保障服务能力的战略要求。西方发达国家纷纷制订了本国的网络与信息安全战略。比如,美国奥巴马政府正在采取措施加强美国网络战的备战能力,其中一项措施是创建网络战司令部,这表明美国的网络与信息安全战略已经由克林顿时代的“全面防御”、布什时代的“攻防结合”,转到奥巴马时代的“攻击为主,网络威慑”。

当前,制约我国网络与信息安全事业发展的瓶颈之一就是人才极度匮乏,为此,教育部从2001年起,陆续批准了包括北京邮电大学在内的近百所各类高校开设信息安全本科专业。但是,毕竟与其他经典的本科专业相比,信息安全本科专业的建设问题还面临许多挑战,需要全国同行共同努力,早日探索出一条办好信息安全专业的捷径。可喜的是,在国内若干高校的教授团队都纷纷行动起来,各尽所能在信息安全本科专业建设方面取得了不少业绩。比如,灵创团队(<http://www.cleader.net>)就是众多热心于信息安全本科专业建设的创新团队,该团队中的“信息安全教学团队”被教育部和财政部批准为“2009年度国家级教学团队”;其完成的成果“信息安全专业规范研究与专业体系建设”获得了国家级教学成果奖二等奖;其带头人也被评为“国家级教学名师”并受到了胡锦涛等党和国家领导人的接见。希望国内能够有更多的类似教学团队投身于信息安全本科专业建设。

由于教材建设是信息安全专业建设的重点和难点之一,中国密码学会教育工作委员会自成立以来就一直致力于推进密码学与信息安全方面的教学和教材建设,比如,与国防工业出版社联合主办了“密码学与信息安全教学研讨会”等一系列研讨活动,并成立“普通高等教育本科密码信息安全类系列教材”编审委员会来组织策划相关系列教材。编审委员会在充分研究信息安全本科专业规范的基础上,经过细致研究,多次反复讨论,规划了与信息安全本科专业规范相配套的本系列教材。

本系列教材参照荣获国家级教学成果奖的信息安全最新专业规范,确定教材题目,组织教材书稿内容。所有教材严格按照“规范”要求,结合信息安全专业的学制、培养规格、素质结构要求、知识结构要求撰写,使其所含知识点完全覆盖“规范”中的要求,确保能够达到“规范”中的学习目标。由于本系列教材涉及的内容比较多,在教材内容选择时,一

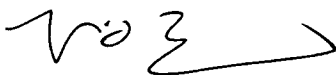
方面要考虑教材内容相互的衔接,另一方面要考虑许多课程相互之间有内容交叉的现象;同时,充分考虑了先进性和成熟性之间的和谐关系,确保教材既能够反映信息安全领域的前沿科研状态,又能使学生掌握基础的核心知识和较成熟稳定的技能;编审委员会多次召开会议,审定教材的大纲,落实教材的主要知识点,避免了内容的重复。

本系列教材的作者都是在我国信息安全领域具有丰富教学和实践经验的一流专家,部分教材已经被评为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。

为便于高校教师选用本套教材,我们将为高校教师提供完善的教学服务,免费为选用本套教材的教师提供所有教材的电子教案和部分教材的习题答案。同时我们还提供信息安全专业本科教学实验室建设方案与实验教学指导咨询和信息安全专业本科生实习、实训与技能认证咨询。

本系列教材尽管通过反复讨论修改,但限于作者水平和其他客观条件限制,难免存在不足和值得商榷之处,敬请批评指正。

教授 博士生导师 国家级教学名师
灾备技术国家工程实验室主任
网络与信息攻防教育部重点实验室主任
北京邮电大学信息安全中心主任



2009年9月30日星期三

高等院校密码信息安全类专业系列教材 编委会名单

顾 问	王 越	(中国科学院院士、中国工程院院士)
	方滨兴	(中国工程院院士)
主 任	白中英	(北京邮电大学教授、博士生导师)
	杨义先	北京邮电大学
编 委	(按姓氏笔画排序)	
	马文平	西安电子科技大学
	马春光	哈尔滨工程大学
	王永滨	中国传媒大学
	王景中	北方工业大学
	牛少彰	北京邮电大学
	孙国梓	南京邮电大学
	苏盛辉	北京工业大学
	吴晓平	海军工程大学
	张 伟	南京邮电大学
	林柏钢	福州大学
	罗守山	北京邮电大学
	罗森林	北京理工大学
	郑智捷	云南大学
	赵俊阁	海军工程大学
	秦志光	电子科技大学
	贾春福	南开大学
	徐茂智	北京大学
	蒋文保	北京信息科技大学
	游 林	杭州电子科技大学
	慕德俊	西北工业大学

前 言

目前,国内很多高校开设密码学、信息安全和信息对抗专业,这些专业的教学大纲中都设有信息隐藏与数字水印课程。虽然现有的信息隐藏与数字水印教材很多,但很难找到一本涵盖面全而且实用的实验教材。作者长期从事信息隐藏与数字水印的教学和科研工作,因此萌发了编写一本信息隐藏与数字水印实验指导教材的想法,并付诸行动,终于完稿付梓。

本书将图像、文本、音频、网络协议和软件等作为载体实现各种信息隐藏与数字水印算法。通过这些实验,让读者加深对信息隐藏与数字水印理论知识的理解,掌握基于各种载体的信息隐藏与数字水印实现方法。

信息隐藏与数字水印作为信息安全领域最新的研究领域,在近几年得到很大的发展,各种新算法层出不穷,本书中所介绍的都是基础和经典算法,读者可在此基础上举一反三。此外,本教材部分章节后附有思考题,这些思考题扩展后可作为信息安全专业课程设计和毕业设计参考题目。

本书共分为7章:第1章为 Matlab 简介及信号处理基础;第2章为结构化文件信息隐藏;第3章为图像信息隐藏与水印;第4章为音频信息隐藏;第5章为网络协议信息隐藏;第6章为水印攻击和隐写分析;第7章为软件水印。附录 A 为信息隐藏常用工具介绍;附录 B 为信息隐藏与数字水印复习题和参考答案。

本书可以作为专业课程实验指导书,也可作为课程设计和毕业设计指导书,同时还可作为信息隐藏与数字水印研发人员的入门参考书。

在本书的编写过程中,参考并实现了信息隐藏与数字水印领域大量算法,在此对这些算法的提出者表示感谢。

本书第5章由解放军电子工程学院网络系杨智丹编写,其他部分由北京邮电大学杨榆编写,全书由钮心忻教授审阅。本书得到国家973项目(No. 2007CB311203)、国家自然科学基金项目(No. 60803157,60821001,U0835001)、高等学校博士学科点专项科研基金(No. 20070013007)、高等学校学科创新引智计划(No. B08004)的资助。

由于作者水平有限,书中难免出现各种疏漏和不当之处,欢迎大家批评指正。作者联系方式:yangyu@bupt.edu.cn。

作 者

2009年5月

目 录

第 1 章	Matlab 简介及信号处理基础	1
1.1	Matlab 简介	1
	【实验目的】	1
	【实验环境】	1
	【原理简介】	1
	【实验步骤】	1
	【思考题】	9
1.2	信号处理基础	9
	【实验目的】	9
	【实验环境】	9
	【原理简介】	9
	【实验步骤】	10
	【思考题】	18
第 2 章	结构化文件信息隐藏	19
2.1	HTML 信息隐藏	19
	【实验目的】	19
	【实验环境】	19
	【原理简介】	19
	【实验步骤】	20
	【思考题】	23
2.2	BMP 图像信息隐藏	23
	【实验目的】	23
	【实验环境】	23
	【原理简介】	23
	【实验步骤】	24
	【思考题】	26
2.3	MIDI 信息隐藏	27
	【实验目的】	27
	【实验环境】	27
	【原理简介】	27
	【实验步骤】	28
	【思考题】	30

第3章 图像信息隐藏与水印	31
3.1 LSB 图像信息隐藏	31
【实验目的】	31
【实验环境】	31
【原理简介】	31
【思考题】	36
3.2 二值图像信息隐藏	36
【实验目的】	36
【实验环境】	36
【原理简介】	36
【实验步骤】	37
【思考题】	43
3.3 Patchwork 图像信息隐藏	43
【实验目的】	43
【实验环境】	43
【原理简介】	43
【实验步骤】	44
【思考题】	46
3.4 调色板图像隐写	47
【实验目的】	47
【实验环境】	47
【原理简介】	47
【实验步骤】	47
3.5 DCT 域图像水印	49
【实验目的】	49
【实验环境】	49
【原理简介】	49
【实验步骤】	50
【思考题】	51
3.6 完全脆弱图像水印	52
【实验目的】	52
【实验环境】	52
【原理简介】	52
【实验步骤】	52
【思考题】	55
3.7 基于内容认证的半脆弱水印	56
【实验目的】	56
【实验环境】	56
【原理简介】	56

【实验步骤】	57
第4章 音频信息隐藏	69
4.1 WAV 音频的 LSB 信息隐藏	69
【实验目的】	69
【实验环境】	69
【原理简介】	69
【实验步骤】	69
【思考题】	73
4.2 回声信息隐藏	73
【实验目的】	73
【实验环境】	74
【原理简介】	74
【实验步骤】	74
4.3 简单扩频语音水印算法	76
【实验目的】	76
【实验环境】	76
【原理简介】	77
【实验步骤】	77
第5章 网络协议信息隐藏	81
5.1 基于网络层协议的信息隐藏	81
【实验目的】	81
【实验环境】	81
【原理简介】	81
【实验步骤】	83
【实验结果】	93
【思考题】	94
5.2 基于传输层协议的信息隐藏	94
【实验目的】	94
【实验环境】	94
【原理简介】	95
【实验步骤】	96
【实验结果】	105
【思考题】	107
5.3 基于应用层协议的信息隐藏	107
【实验目的】	107
【实验环境】	107
【原理简介】	107
【实验步骤】	111
【实验结果】	125

【思考题】.....	127
第 6 章 水印攻击和隐写分析	128
6.1 Stirmark 使用指南	128
【实验目的】.....	128
【实验环境】.....	128
【原理简介】.....	128
【实验步骤】.....	129
6.2 LSB 信息隐藏的卡方分析	134
【实验目的】.....	134
【实验环境】.....	134
【原理简介】.....	134
【实验步骤】.....	135
【思考题】.....	136
6.3 LSB 信息隐藏的 RS 分析	137
【实验目的】.....	137
【实验环境】.....	137
【原理简介】.....	137
【实验步骤】.....	139
6.4 基于 SPA 的音频隐写分析	143
【实验目的】.....	143
【实验环境】.....	143
【原理简介】.....	144
【实验步骤】.....	146
第 7 章 软件水印	150
7.1 软件水印	150
【实验目的】.....	150
【实验环境】.....	150
【原理简介】.....	150
【实验步骤】.....	151
【思考题】.....	161
7.2 .NET 中的静态水印	161
【实验目的】.....	161
【实验环境】.....	161
【原理简介】.....	161
【实验步骤】.....	162
【思考题】.....	166
附录 A 信息隐藏常用工具介绍	167
附录 B 信息隐藏与数字水印复习题和参考答案	182
参考文献	205



第1章 Matlab 简介及信号处理基础

在信息隐藏与数字水印实验过程中,主要使用 Matlab 和 VC 等工具来实现各种算法。本章通过介绍 Matlab 命令来掌握信息隐藏实验过程中所需的各种 Matlab 操作,同时了解对图像和音频等载体信号进行离散余弦、离散小波变换等基本操作的方法,为今后的其他实验打下良好基础。



1.1 Matlab 简介

【实验目的】

了解 Matlab 软件使用环境,熟悉 Matlab 使用方法,掌握信息隐藏实验中的各种常用 Matlab 命令。

【实验环境】

- (1) Windows XP 或 Vista 操作系统;
- (2) Matlab7.1 版本软件。

【原理简介】

Matlab 是广泛使用的一种可视化科学计算软件,它具有语法结构简单、数值计算高效、图形功能完备和图像处理方便的特点,是信号处理和信息隐藏处理中使用最多的软件。

【实验步骤】

1. 常用命令

dir:列出当前目录下的所有文件;
clc:清除命令窗口;
clear all:清除环境(从内存中清除所有变量);
who:将内存中的当前变量以简单形式列出;
close all:关闭所有的 Figure 窗口。

2. 变量设置

1) 变量命名

Matlab 的变量名以字母打头,后面最多可跟 19 个字母或数字,如 x、y、ae3 和 d3er45 等都是合法的变量名,不能使用内部函数或命令名作为变量名。Matlab 中的变量名区分大小写,ab 与 Ab 表示两个不同的变量。



2) 变量赋值

(1) 表达式赋值:

```
>> a = (100 * 0.02) / 4.0
```

```
a = 0.0500
```

(2) 矩阵赋值。数值通常按行输入,行之间用分号隔开。

```
>> C = [-1,0,0;1,-1,0;0,0,2]; (省略最后的分号,Matlab 会回显矩阵值)
```

(3) 通过引用特定的位置可以单独改变某个矩阵元素。如 $S = [5, 6, 4]$, 用命令 $S(2) = 8$ 把矩阵 S 的第二个元素值由 6 改成 8。

(4) 可以引用已定义的矩阵,重新定义一个新矩阵。如 $S = [5, 6, 4]$, 可定义一个新矩阵。

```
>> B = [3 S 2]
```

```
B =
```

```
3 5 6 4 2
```

3. 整数操作

1) $\text{fix}(x)$: 截尾取整

```
>> fix([3.12 -3.12])
```

```
ans = 3      -3
```

2) $\text{floor}(x)$: 不超过 x 的最大整数(高斯取整)

```
>> floor([3.12 -3.12])
```

```
ans = 3      -4
```

3) $\text{ceil}(x)$: 大于 x 的最小整数

```
>> ceil([3.12 -3.12])
```

```
ans = 4      -3
```

4. 随机序列常用命令

1) rand : 均匀分布随机矩阵

```
rand % 无变量输入时只产生一个随机数
```

```
y = rand(n) % 生成 n × n 随机矩阵,其元素在(0,1)内
```

```
y = rand(m,n) % 生成 m × n 随机矩阵,其元素在(0,1)内
```

例 1.1 产生一个 3×4 随机矩阵, Matlab 命令为: $R = \text{rand}(3, 4)$ 。

2) randn : 正态分布随机矩阵

```
randn % 无变量输入时只产生一个正态分布随机数
```

```
y = randn(n) % 生成 n × n 正态分布随机矩阵
```

```
y = randn(m,n) % 生成 m × n 正态分布随机矩阵
```

例 1.2 产生均值为 0.6, 方差为 0.1 的 4 阶矩阵。

Matlab 命令为: $>> \mu = 0.6; \sigma = 0.1; >> x = \mu + \sqrt{\sigma} * \text{randn}(4)$ 。

3) randsrc : 产生均匀分布数组

```
randsrc % 无变量输入时只产生一个随机数 1 或者 -1
```

```
y = randsrc(n) % 生成 n × n 随机数组,其元素为 1 或者 -1
```

```
y = randsrc(m,n) % 生成 m × n 随机数组,其元素为 1 或者 -1
```

例 1.3 产生一个 2×3 随机矩阵, Matlab 命令为: $R = \text{randsrc}(2,3)$ 。

5. 矩阵常用操作命令

Matlab 的基本单位是矩阵,掌握矩阵的输入、各种数值运算以及矩阵函数是学好 Matlab 的关键。

1) 矩阵的输入

(1) 直接输入创建矩阵。以“[”和“]”作为首尾,同行的元素用“,”或空格隔开,不同行的元素用“;”或按 Enter 键来分隔;矩阵的元素可以是数字也可以是表达式,如果是数值计算,表达式中不可包含未知变量。

例 1.4 直接输入创建矩阵 $A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 15 & 60 \\ 7 & 8 & 9 \end{pmatrix}$ 。

Matlab 命令为: $>> A = [1,2,3;4,15,60;7,8,9]$ 。

(2) 用矩阵函数来生成矩阵。Matlab 提供了大量的函数来创建特殊矩阵,表 1.1 给出 Matlab 常用的矩阵函数。

表 1.1 常用的矩阵函数

函数名称	函数功能	函数名称	函数功能
$\text{zero}(m,n)$	m 行 n 列零矩阵	$\text{rand}(m,n)$	m 行 n 列随机矩阵
$\text{eye}(n)$	n 阶单位矩阵	$\text{randn}(m,n)$	m 行 n 列正态随机矩阵
$\text{ones}(m,n)$	m 行 n 列元素为 1 的矩阵	$\text{magic}(n)$	n 阶魔方矩阵

例 1.5 生成矩阵 $A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$ 。

Matlab 命令为: $>> \text{ones}(3)$ 。

例 1.6 生成矩阵 $A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ 。

Matlab 命令为: $>> \text{zeros}(2,5)$ 。

例 1.7 生成 3 阶魔方矩阵 $A = \begin{pmatrix} 8 & 1 & 6 \\ 3 & 5 & 7 \\ 4 & 9 & 2 \end{pmatrix}$ 。

Matlab 命令为: $>> \text{magic}(3)$ 。

2) 操作符“:”的说明

$j:k$ 表示步长为 1 的等差数列构成的数组: $[j, j+1, j+2, \dots, k]$ 。

$j:i:k$ 表示步长为 i 的等差数列构成的数组: $[j, j+i, j+2 \times i, \dots, k]$ 。

$A(i:j)$ 表示 $A(i), A(i+1), \dots, A(j)$ 。

3) 对矩阵元素的操作

设 A 是一个矩阵,则在 Matlab 中用如下符号表示它的元素:

$A(i,j)$ 表示矩阵 A 的第 i 行第 j 列元素。

$A(:,j)$ 表示矩阵 A 的第 j 列。



$A(i,:)$ 表示矩阵 A 的第 i 行。

$A(:,i)$ 表示 A 的所有元素构造的 2 维矩阵。

$A(:)$ 表示以矩阵 A 的所有元素按列构成的一个列矩阵。

$A(i)$ 表示矩阵 $A(:)$ 的第 i 个元素。

$[]$ 表示空矩阵。

4) 矩阵的运算

$A + B$:矩阵加法。

$A - B$:矩阵减法。

$A * B$:矩阵乘法。

A' : A 的转置。

$k * A$:数 k 乘以 A 。

$\det(A)$: A 的行列式。

$\text{rank}(A)$: A 的秩。

5) 数组

在 Matlab 中数组是一行或者一列的矩阵,对矩阵的输入、修改和保存都适用于数组,同时 Matlab 还提供了一些创建数组的特殊指令。

(1) 特殊数组的创建:

$\text{linspace}(a,b,n)$ 给出区间 $[a,b]$ 的 n 个等分点数据

例 1.8 给出区间 $[0,1]$ 的 6 个等分点数据。

Matlab 命令为: `>> linspace(0,1,6)`。

(2) 数组运算。数组运算除作为 $1 \times n$ 的矩阵应遵循矩阵的运算规则外,Matlab 中还为数组提供了一些特殊的运算:乘法为: $.*$,乘幂为: $.^$ 。数组运算强调元素对元素的运算。

例 1.9 数组运算。

```
>> a=1:5           % 定义数组 a
a = 1     2     3     4     5
>> b=3:2:11        % 定义数组 b
b = 3     5     7     9    11
>> a.^2            % 数组 a 每一个元素求平方
ans = 1     4     9    16    25
>> a.*b            % 数组 a 每一个元素乘以对应数组 b 的元素
ans = 3    10    21    36    55
```

6. 位操作

1) bitand:按位与

$C = \text{bitand}(A,B)$ 命令将返回两个非负整数数组 A 和 B 的相应元素按位与操作的结果。为了确保 A 和 B 的元素都是整数,可以使用 `ceil`、`fix`、`floor` 或 `round` 函数来生成 A 和 B 。

例 1.10 `>> C = bitand(1,2)`

结果为: $C = 0$ 。

2) bitor:按位或

$C = \text{bitor}(A,B)$ 命令将返回两个非负整数数组 A 和 B 的相应元素按位或操作的结果。为了确保 A 和 B 的元素都是整数,可以使用 `ceil`、`fix`、`floor` 或 `round` 函数来生成 A



和 B。

例 1.11 `>> C = bitor(1,2)`

结果为: $C = 3$ 。

3) `bitxor`: 按位异或

`C = bitxor(A,B)` 返回两个非负整数数组 A 和 B 的相应元素进行按位异或的结果。为了确保 A 和 B 的元素都是整数, 可以使用 `ceil`、`fix`、`floor` 或 `round` 函数来生成 A 和 B。

例 1.12 `>> C = bitxor(1,2)`

结果为: $C = 3$ 。

4) `bitset`: 设置指定位的值

`C = bitset(A,bit,v)` 命令将 A 中元素第 bit 位设为 v, 其中 v 必须为 0 或 1, A 中的元素必须为非负整数, bit 必须为 1 ~ A 中元素浮点整数表示法位数之间的一个数字。

例 1.13 `>> C = bitset(1,2,1)`

结果为: $C = 3$ 。

5) `bitget`: 获取指定位的值

`C = bitget(A,bit)` 命令将返回 A 中元素第 bit 指定位的值, A 中的元素必须为非负整数, bit 必须为 1 ~ A 中元素浮点整数表示法位数之间的一个数字。

例 1.14 `>> C = bitget(1,2)`

结果为: $C = 0$ 。

7. 绘图操作

1) 图形标注

`title('string','属性名','属性值',...)`——给图形加标题

`xlabel('string','属性名','属性值',...)`——给 x 轴加标注

`ylabel('string','属性名','属性值',...)`——给 y 轴加标注

`legend('string1','string2',...)`——添加图例, 其顺序对应于绘图指令中的顺序

`axis([xmin,xmax,ymin,ymax])`——控制坐标轴的刻度范围

2) 二维图形

(1) `plot(x,y)`。

功能: 以向量 x、y 为轴, 绘制曲线。

注: `plot(x,y)` 命令可用来绘制函数 $f(x)$ 图形, 此时可通过向量 x 常用命令 $x = a:h:b$ 的形式获得 $f(x)$ 函数在绘图区间 $[a,b]$ 上的自变量点向量数据, 对应的函数向量值取为 $y = f(x)$ 。步长 h 可以任意选取, 一般步长越小, 曲线越光滑, 但是步长太小, 会增加计算量, 运算速度也要降低。通常步长 h 取值 0.1 可达到较好的绘图效果。

例 1.15 绘制函数 $y = \sin x^2$ 在 $-5 \leq x \leq 5$ 的图形。

解 Matlab 命令:

```
x = -5:0.1:5;           % 取绘图横坐标向量点 x
y = sin(x.^2);
plot(x,y);
xlabel('input value');
ylabel('function value');
```




```
title('曲线 y=sinx^2');
```

绘图结果如图 1.1 所示。

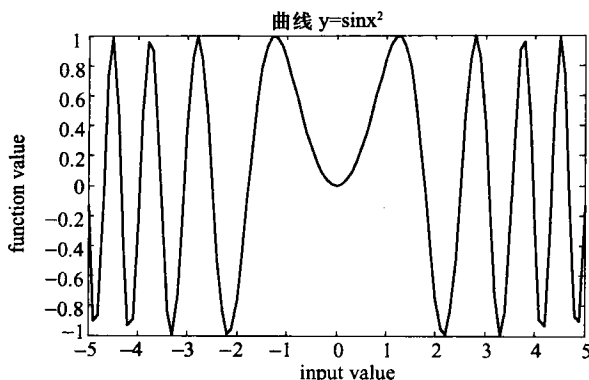


图 1.1 绘图结果

(2) `plot(x1,y1,x2,y2,x3,y3,...)`。

功能:在同一图形窗口绘制多条不同颜色曲线,曲线关系为

$$y_1 = f(x_1), y_2 = f(x_2), y_3 = f(x_3)$$

例 1.16 在同一图形窗口画出三个函数 $y = \cos 2x$, $y = x^2$, $y = x$ 的图形, $-2 \leq x \leq 2$ 。

解 Matlab 命令:

```
x = -2:.1:2;
```

```
plot(x,cos(2*x),x,x.^2,x,x)
```

```
legend('cos(2x)','x^2','x')
```

绘图结果如图 1.2 所示。

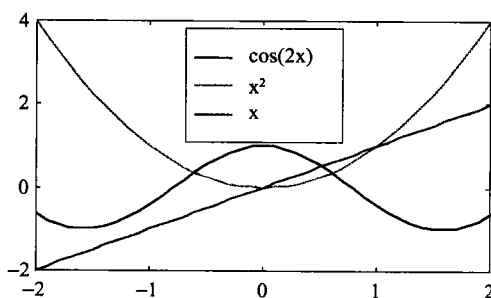


图 1.2 绘图结果

3) 二维特殊图形

(1) `bar` 表示的直方图。

例 1.17

```
>> x = 1:5;
```

```
>> bar(x),title('直方图'); (如图 1.3 所示)
```

(2) `hist` 表示生成直方图。`M = hist(N)` 表示将 `N` 中的最大值、最小值找出来,然后,平均取 10 个等间隔点,看以每个间隔点为中心,向两边各扩展 1/2 间隔的范围内,包括 `N` 的元素个数,因此 `M` 返回值都是 1×10 大小。