

01001010111010100110101011100010100011101010011101010010101000110101001101010011101010011000101011001110100101
1100111010100101010001101010011010100111010100110001010111001110101001010111010101100100111011010100011
10100110101001110101010011000101011100111010101001001110101001101010111000101000111010100110101000101010
0100110001110100110101001110101010011000101011100111010101001000110101001110101001110101001110101001
01001001101010011010101110001010001110101001110101001010001101010011010100111010100110001010111001110101
10100110101001010100011010100110101001110101000110001010111001110101001010111010101001010111101010110010011101010001111
101001101010011101010100110001010111001110101010010011101010011010101110001010001110101001110101001010100010101
010011000111010011010100101010100110001010111001110101010010001101010011101000101000111010100111010100
0100100110101001101010111000101000111010100111010100101000110101001101010011010100110001010111001110101
101001101010111010101001101010011100110101011001101010110011010101110101011001101010100100
1100010101100110101001000110101001101010111010010100011101010011101010011000110001010111000101000110101101001
0100101011101010011010101110001010001110101001110101001110101001110101001100101011100110101
11100111010100101010001101010100110101001110101001100010101110011101011001010111000101011100100111011010100011011
10100110101001110101010011000101011100111010101001001110101001110001010011101010011101010010100010101
01001100011101001101010011101010100110001010111001110101010010001101010011101010011101010011010100
0100100110101001101010111000101000111010100111010100101000110101001101010011010100110001010111001110101
1010011010101110101010011010100111001101010110011101010010001101010011101000101000111010100111010100
1100010101100111010101001000110101001101010111010010100011101010011101010011000110001010111000101000110101101001
010010101110101001101010111000101000111010100111010100110101001101010011001010111001101010100100
100111010100101010001101010011101010011101010011010100111010100110101001101010011000101011100111010110
100111010100101010001101010011010100111010100110001010111001110101001001010111010101110010011101010001111
101001101010011101010100110001010111001110101010010011101010011101010011101010011101010010100010101
01001100011101001110101010011101010100110001010111001110101010010011101010011101000101000111010100111010100
0100100110101001101010110100010100111010100111010100101000110101001101010011010100110001010111001110101
10100110101001110101010011000101011100111010101001011101010100110101001110101001110101001101010010101
110001010111001110101010010001101010111010010100011101010011101010011100010101110001010011010101010011010101
101001101010011101010100110001010111001110101010010111010101001110101001110101001110101001110101001
11000101011100111010101001000110101001110101011101001010001110101011100111010101000111010101000111010101
0100101011101010011010101110001010001110101001110101001010001101010100111010100111010100110001010111001110101010

Security

Information

Information

Security

Security

Information

Security

高等学校信息安全专业“十二五”规划教材

王丽娜 郭迟 叶登攀 李鹏 编著

信息隐藏技术 实验教程



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

Information
Security
Information
Security
Information
Security

高等学校信息安全专业“十二五”规划教材

王丽娜 郭迟 叶登攀 李鹏 编著

信息隐藏技术 实验教程



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

信息隐藏技术实验教程/王丽娜,郭迟,叶登攀,李鹏编著. —武汉:武汉大学出版社,2012.9

高等学校信息安全专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-307-10184-5

I. 信… II. ①王… ②郭… ③叶… ④李… III. 信息系统—安全技术—高等学校—教材 IV. TP309

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 208483 号

责任编辑:黎晓方 责任校对:刘欣 版式设计:马佳

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:荆州市鸿盛印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:26.25 字数:666千字

版次:2012年9月第1版 2012年9月第1次印刷

ISBN 978-7-307-10184-5/TP·449 定价:48.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

高等学校信息安全专业规划教材

编 委 会

主 任:沈昌祥(中国工程院院士,教育部高等学校信息安全类专业教学指导委员会主任,武汉大学兼职教授)

副 主 任:蔡吉人(中国工程院院士,武汉大学兼职教授)

刘经南(中国工程院院士,武汉大学教授)

肖国镇(西安电子科技大学教授,武汉大学兼职教授)

执行主任:张焕国(教育部高等学校信息安全类专业教学指导委员会副主任,武汉大学教授)

编 委:冯登国(教育部高等学校信息安全类专业教学指导委员会副主任,信息安全国家重点实验室研究员,武汉大学兼职教授)

卿斯汉(北京大学教授,武汉大学兼职教授)

吴世忠(中国信息安全产品测评中心研究员,武汉大学兼职教授)

朱德生(中国人民解放军总参谋部通信部研究员,武汉大学兼职教授)

谢晓尧(贵州师范大学教授)

来学嘉(教育部高等学校信息安全类专业教学指导委员会委员,上海交通大学教授)

黄继武(教育部高等学校信息安全类专业教学指导委员会委员,中山大学教授)

马建峰(教育部高等学校信息安全类专业教学指导委员会委员,西安电子科技大学教授)

秦志光(教育部高等学校信息安全类专业教学指导委员会委员,电子科技大学教授)

刘建伟(教育部高等学校信息安全类专业教学指导委员会委员,北京航空航天大学教授)

韩 臻(教育部高等学校信息安全类专业教学指导委员会委员,北京交通大学教授)

张宏莉(教育部高等学校信息安全类专业教学指导委员会委员,哈尔滨工业大学教授)

覃中平(华中科技大学教授,武汉大学兼职教授)

俞能海(中国科技大学教授)



序 言



人类社会在经历了机械化、电气化之后,进入了一个崭新的信息化时代。

在信息化社会中,人们都工作和生活与信息空间(Cyberspace)中。社会的信息化使得计算机和网络在军事、政治、金融、工业、商业、人们的生活和工作等方面的应用越来越广泛,社会对计算机和网络的依赖越来越大,如果计算机和网络系统的信息安全受到破坏将导致社会的混乱并造成巨大损失。当前,由于敌对势力的破坏、恶意软件的侵扰、黑客攻击、利用计算机犯罪等对信息安全构成了极大威胁,信息安全的形势是严重的。

我们应当清楚,人类社会中的安全可信与信息空间中的安全可信是休戚相关的。对于人类生存来说,只有同时解决了人类社会和信息空间的安全可信,才能保证人类社会的安全、和谐、繁荣和进步。

综上所述,信息成为一种重要的战略资源,信息的获取、存储、传输、处理和安全保障能力成为一个国家综合国力的重要组成部分,信息安全已成为影响国家安全、社会稳定和经济发展的决定性因素之一。

当前,我国正处在建设有中国特色社会主义现代化强国的关键时期,必须采取措施确保我国的信息安全。

发展信息安全技术与产业,人才是关键。人才培养,教育是关键。2001年经教育部批准,武汉大学创建了全国第一个信息安全本科专业。2003年,武汉大学又建立了信息安全硕士点、博士点和博士后流动站,形成了信息安全人才培养的完整体系。现在,设立信息安全专业的高校已经增加到80多所。2007年,“教育部高等学校信息安全类专业教学指导委员会”正式成立。在信息安全类专业教指委的指导下,“中国信息安全学科建设与人才培养研究会”和“全国大学生信息安全竞赛”等活动,开展得蓬蓬勃勃,水平一年比一年高,为我国信息安全专业建设和人才培养作出了积极贡献。

特别值得指出的是,在教育部的组织和领导下,在信息安全类专业教指委的指导下,武汉大学等13所高校联合制定出我国第一个《信息安全专业指导性专业规范》。专业规范给出了信息安全学科结构、信息安全专业培养目标与规格、信息安全专业知识体系和信息安全专业实践能力体系。信息安全专业规范成为我国信息安全专业建设和人才培养的重要指导性文件。贯彻实施专业规范,成为今后一个时期内我国信息安全专业建设和人才培养的重要任务。

为了增进信息安全领域的学术交流,并为信息安全专业的大学生提供一套适用的教材,2003年武汉大学出版社组织编写出版了一套《信息安全技术与教材系列丛书》。这套丛书涵盖了信息安全的主要专业领域,既可用做本科生的教材,又可用做工程技术人员的技术参考书。这套丛书出版后得到了广泛的应用,深受广大读者的厚爱,为传播信息安全知识发挥了重要作用。2008年,为了反映信息安全技术的新进展,更加适合信息安全专业的教学使用,武汉大学出版社对原有丛书进行了升版。2011年,为了贯彻实施信息安全专业规范,给广大信息安全专业学生提供一套符合信息安全专业规范的适用教材,武汉大学出版社对以前的教材进



行了根本性的调整,推出了《高等学校信息安全专业规划教材》。这套新教材的最大特点首先是符合信息安全专业规范。其次,教材内容全面、理论联系实际、努力反映信息安全领域的新成果和新技术,特别是反映我国在信息安全领域的新成果和新技术,也是其突出特点。我认为,在我国信息安全专业建设和人才培养蓬勃发展的今天,这套新教材的出版是非常及时的和有益的。

我代表编委会向这套新教材的作者和广大读者表示感谢。欢迎广大读者提出宝贵意见,以便能够进一步修改完善。

编委会主任,中国工程院院士,武汉大学兼职教授

2012年1月8日



前 言



信息隐藏是一门新兴的学科。信息隐藏技术,即将秘密信息隐藏在不易被人怀疑的普通文件(即载体文件,这里主要用图像作为载体文件)中,使秘密信息不易被别有用心者发现,当然他们就不易对消息进行窃取、修改和破坏,从而保证了消息在网络上传输的安全性。为了增加安全性,人们通常将加密和信息隐藏这两种技术结合起来使用。信息隐藏主要包括信息隐密书写和数字水印两部分内容。

近年来国际上提出了一种新型的版权保护技术——数字水印(digital watermark)技术。利用人类的听觉、视觉系统的特点,在图像、音频、视频中加入一定的信息,使人们很难分辨出加水印后的数字作品与原始数字作品的区别,而通过专门的检验方法又能提取出所加信息,以此证明原创作者对数字媒体的版权。数字水印技术通过将数字、序列号、文字、图像标志等信息嵌入到媒体中,在嵌入过程中对载体进行尽量小的修改,以达到最强的鲁棒性,当嵌入水印后的媒体受到攻击后仍然可以恢复水印或者检测出水印的存在。水印与原数据(如图像、音频、视频数据)紧密结合并隐藏其中,成为不可分离的一部分。数字水印主要应用领域包括:数字产品版权保护、原始数据的真伪鉴别、数据侦测与跟踪等。

本书是对应武汉大学出版社出版的“高等学校信息安全专业“十二五”规划教材”的《信息隐藏教程》一书的配套实验教程。全书共分十章,主要内容包括图像载体的基本知识,伪随机数发生器,载体信号的时频分析,图像信息的伪装技术,时空域下的信息隐藏,变换域隐密技术,数字水印模型,视觉感知和基于视觉感知的数字水印,水印攻击和性能评价,视频水印。书中完成了大量的实验。

郭迟完成第1章第2节、第2章第1、2、3、5、6节、第3章第3节、第5章第2、3节、第7章第3、4节、第8章、附录三。李鹏完成第2章第4节、第5章第4节、第6章、第9章、附录四。李巍完成第1章第1、3、4、5节、第3章第1、2节、第5章第1节、第7章第1、2、5、6节、附录五。王霞仙完成第4章、附录一、附录二。叶登攀完成第10章、附录六。王丽娜总体指导、设计及审校。

由于水平有限,不足之处恳请广大读者批评指正。

作 者

2012年8月



目 录

第 1 章 图像载体的基本知识	1
1.1 图像的基本类型	1
1.1.1 图像类型的引入	1
1.1.2 二值图像	3
1.1.3 索引图像	4
1.1.4 灰度图像	5
1.1.5 RGB 图像	5
1.2 图像类型的相互转换	8
1.2.1 灰度图像的二值化方法	9
1.2.2 RGB 图像与索引图像的互换	12
1.2.3 其他转换	13
1.3 数字图像的基本文件格式	13
1.4 图像存储方式和图像文件格式的相互转换	15
1.4.1 8 位和 16 位索引图像	16
1.4.2 8 位和 16 位灰度图像	17
1.4.3 8 位和 16 位 RGB 图像	17
1.4.4 其他相互转换的方法	17
1.4.5 图像文件格式的相互转换	17
1.5 其他的颜色模型	18
1.5.1 颜色模型	18
1.5.2 颜色模型之间的转换	19
第 2 章 伪随机数发生器	22
2.1 伪随机数发生器概述	22
2.2 服从均匀分布的伪随机数	23
2.2.1 线性同余伪随机数发生器	23
2.2.2 小数开方伪随机数发生器	25
2.2.3 对所生成的随机序列的统计检验	26
2.3 服从其他概率分布的伪随机数	33
2.3.1 构造的一般思路	33
2.3.2 构造服从指数分布和正态分布的随机序列的算法	34
2.3.3 正态分布随机序列的统计检验	34
2.4 具有混沌特性的伪随机数	36



2.4.1	与混沌有关的基本概念及特征值	36
2.4.2	Logistic 方程作为模型的混沌序列发生器	42
2.4.3	混合光学双稳模型产生的混沌序列	43
2.4.4	混沌时间序列的判别方法	44
2.5	其他伪随机数发生器	46
2.5.1	N 级线性最长反馈序列 (m 序列)	46
2.5.2	伪随机组合发生器的一般原理	47
2.6	随机序列在信息隐藏中的运用	48
2.6.1	随机序列与信息嵌入位的选择	49
2.6.2	安全 Hash 函数	51
2.6.3	应用安全 Hash 函数的随机置换算法	54
第 3 章	载体信号的时频分析	58
3.1	离散 Fourier 变换	58
3.1.1	DFT 原理	58
3.1.2	DFT 应用示例	59
3.2	离散余弦变换	64
3.2.1	DCT 原理	64
3.2.2	DCT 的 MATLAB 实现	66
3.2.3	JPEG 压缩算法中的离散余弦变换 (DCT) 编码	68
3.2.4	DCT 变换在图像压缩上的应用示例	74
3.3	小波分析初步	76
3.3.1	小波函数存在的空间	76
3.3.2	小波与小波变换简述	78
3.3.3	小波分析方法及应用示例	82
3.3.4	常用的小波函数族	95
第 4 章	图像信息伪装技术	98
4.1	图像降级	98
4.2	简单的图像信息伪装技术	99
4.2.1	直接 4bit 替换法	100
4.2.2	对第 4bit 的考察	103
4.3	图像置乱	106
4.3.1	变化模板形状的图像置乱算法	107
4.3.2	图像的幻方变换	110
4.3.3	图像的 Hash 置乱	119
4.3.4	隐藏置乱图像的优点	121
第 5 章	时空域下的信息隐藏	123
5.1	基于图像 RGB 颜色空间的信息隐藏	123

5.1.1	LSB 与 MSB	123
5.1.2	在 LSB 上的信息隐秘	124
5.1.3	在 MSB 上的信息隐秘	134
5.2	二值图像中的信息隐藏	138
5.2.1	算法描述	138
5.2.2	算法中的几个值得注意的问题	138
5.2.3	算法实现	142
5.2.4	实验分析	151
5.3	基于图像其他特征的信息隐藏	154
5.3.1	对图像亮度值的分析	154
5.3.2	基于图像亮度的信息隐秘示例	158
5.3.3	基于图像亮度统计特性的数字水印	161
5.4	文本载体的空域信息隐藏	167
5.4.1	嵌入方法	167
5.4.2	文本水印的检测	168
第 6 章	变换域隐秘技术	170
6.1	DCT 域的信息隐秘的基本算法	170
6.2	算法实现	172
6.3	对算法参数的讨论	177
6.4	小波域信息隐秘的讨论	182
第 7 章	数字水印模型	184
7.1	水印的通信系统模型	185
7.1.1	数字通信系统	185
7.1.2	水印系统的基本模型	186
7.1.3	水印作为发送端带边信息的模型	187
7.2	水印基本模型的实验实现	189
7.3	W-SVD 数字水印算法	192
7.3.1	W-SVD 数字水印算法描述	192
7.3.2	W-SVD 算法实现	195
7.3.3	W-SVD 水印的检测和检测阈值的确定	201
7.3.4	W-SVD 水印系统性能分析	208
7.4	混沌细胞自动机数字水印	217
7.4.1	细胞自动机与水印生成	217
7.4.2	水印的嵌入和检测策略	222
7.5	数字水印的几何解释	225
7.6	水印的相关检测	227
7.6.1	线性相关	228
7.6.2	归一化相关	229



7.6.3	相关系数	230
第 8 章	视觉感知与基于感知的数字水印	233
8.1	人类视觉系统	233
8.1.1	空间频率	233
8.1.2	人类视觉系统的一般描述	236
8.1.3	CSF 的实现方式	239
8.1.4	Gabor 滤波器设计	242
8.2	常用的感知评价方法	244
8.2.1	主观评价	244
8.2.2	客观评价	247
8.3	Watson 基于 DCT 的视觉模型	257
8.3.1	对比敏感表	257
8.3.2	亮度掩蔽	258
8.3.3	对比度掩蔽	260
8.3.4	感知质量度量	261
8.4	感知自适应水印初步	263
第 9 章	水印攻击与性能评价	267
9.1	检测错误和误比特率	268
9.1.1	检测错误	268
9.1.2	误比特率	272
9.2	几种常见的无意攻击	274
9.2.1	中值滤波	274
9.2.2	锐化滤波	279
9.2.3	马赛克攻击	282
9.2.4	加噪攻击	285
9.2.5	图像的旋转、剪切和改变大小	287
9.2.6	JPEG 压缩	288
9.2.7	模糊处理	290
9.3	水印攻击者	294
9.4	有意攻击	295
9.4.1	多重水印与解释攻击示例	295
9.4.2	合谋攻击	296
第 10 章	视频水印	299
10.1	视频压缩介绍	299
10.1.1	MPEG-2 编码原理	299
10.1.2	快速 DCT 变换与反变换 VC++ 实现	301



10.2 水印视觉模式和水印信息	305
10.2.1 Visual Model	305
10.2.2 水印信息	311
10.3 MPEG-2 水印实验平台介绍	319
10.3.1 水印信息设置	319
10.3.2 水印嵌入与提取	320
10.3.3 水印后视频帧分析	322
10.3.4 视频水印攻击	324
10.4 DEW 水印算法实验与分析	327
10.4.1 DEW 算法原理	327
10.4.2 参数选择及流程描述	329
10.4.3 DEW 算法实验分析	331
附录一 MATLAB 基础	344
附录二 PaintShop7 pro 操作简介	371
附录三 MD5 部分源代码	375
附录四 二选一迫选实验	382
附录五 Stirmark 操作指南	386
附录六 DEW 算法参考源码	391
参考文献	403



第1章 图像载体的基本知识



到目前为止,被认为成熟的信息隐藏算法基本上都是以图像作为载体的。我们学习信息隐藏,也是从图像载体下的信息隐藏出发,然后才能不断深入。只有了解了载体本身的特点,才能进一步学习和运用具体的隐藏算法。本章主要介绍图像的文件格式、图像的类型、图像的颜色模型和图像的存储方式以及利用 MATLAB 对图像进行类型转换和颜色模型转换的有关知识。这些都是我们在今后的实验中涉及和必须清楚认识的。

简而言之,图像就是用各种观测系统以不同形式和手段观测客观世界而获得的,可以直接或间接作用于人眼而产生视知觉的实体。人类的大部分信息都是从图像中获得的。图像是人们从出生以来体验到的最重要、最丰富、信息量获取最大的对象。就图像本质来说,可以将图像分为两大类:模拟图像和数字图像。一幅二维(2-D)平面图像可用一个二元函数 $I=f(x, y)$ 来表示。 (x, y) 表示 2-D 空间坐标系中一个坐标点的位置, f 则表示相应实际物体在该点的某个性质的度量值,所有点的度量值的有序集合构成图像 I 。例如,对于一幅灰度图像, f 表示灰度值,即相应物体在每个坐标点的明暗程度。一般认为, $I=f(x, y)$ 所表示的图像是连续的,如一幅照片、一幅绘画等。为了能用计算机对图像 I 进行处理,则将 f, x, y 的值域从实数域映射到整数域。离散化后的图像就是数字图像。离散化的方法就是从水平和竖直两个方向上同时进行采样。这些采样点称为像素(pixel)。因此,通常用二维矩阵来表示一幅数字图像,矩阵的各个元素代表一个像素的色彩信息。作为信息隐藏的载体,涉及的图像都是数字图像。数字图像以其信息量大、处理和传输方便、应用范围广等一系列优点已成为现代信息化社会的重要支柱,是人类获取信息的重要来源和利用信息的重要手段。随着计算机科学技术的飞速发展,数字图像处理技术在近年来得到了快速发展,并得到广泛应用。

1.1 图像的基本类型

1.1.1 图像类型的引入

图形图像文件可以分为两大类:一类为位图(Bitmap)文件,另一类为矢量(Vector)文件。前者以点阵形式描述图形图像,后者是以数学方法描述的一种由几何元素组成的图形图像。位图文件在有足够的文件量的前提下,能真实细腻地反映图像的层次、色彩,缺点是文件体积较大。一般说来,适合描述照片。矢量类图像文件的特点是文件量小,并且能任意缩放而不会改变图像质量,适合描述图形。位图的映射存储模式是将图像的每一个像素点转换为一个数据,并存放在以字节为单位的一、二维矩阵中。当图像是单色时,一个字节可存放 8 个像素点的图像数据;16 色图像每两个像素点用一个字节存储;256 色图像每一个像素点用一个字节存储。以此类推,就能够精准地描述各种不同颜色模式的图像画面。所以位图文件较适合于内容复杂的图像和真实的照片(位图正符合作为信息隐藏载体的最基本要求)。但位图也有缺

点:随着分辨率以及颜色数的提高,位图图像所占用的磁盘空间会急剧增大,同时在放大图像的过程中,图像也会变得模糊而失真。

图像离不开色彩。大家都知道,在物理光学中,红、绿、蓝(Red, Green, Blue, 即 RGB)被称为光学三原色。大千世界的自然景色丰富多彩,但任何色彩(严格地说是绝大多数色彩)都可以用红、绿、蓝这三种颜色按一定的比例混合而得。例如:

红+绿+蓝→白色
 红+绿→黄色
 红+蓝→品红……

由此,我们可以用一个由 R,G,B 为坐标轴定义的单位立方体来描述这样一个符合视觉理论的颜色模型(图 1.1(c))。坐标原点代表黑色,(1,1,1)代表白色,坐标轴上的顶点称为基色(Primitive Colour)点。立方体中的每一种颜色由一个三元组(R,G,B)表示,每一个分量的数值均在[0,1]区间。

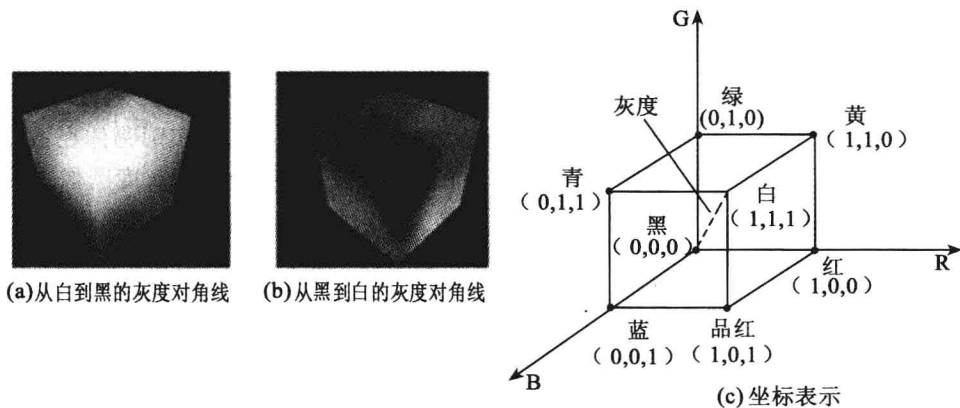


图 1.1 RGB 颜色模型

那么,位图中的颜色是如何在矩阵中体现的呢?我们首先引入一个重要概念:调色板。调色板是包含不同颜色的颜色表,每种颜色以红、绿、蓝三种颜色的组合来表示,图像的每一个像素对应一个数字,而该数字对应调色板中的一种颜色,如某像素值为 1,则表示该颜色为调色板的编号为 1 的颜色。调色板的单元个数是与图像的颜色数相一致的,256 色图像的调色板就有 256 个单元。有些图像(如 RGB 图像)的每个像素值直接用 R、G、B 三个字节来表示颜色,不需要单独的调色板。值得注意的是,对于 16 色或 256 色图像并非全部的图像都采用相同的 16 种或 256 种颜色,由于调色板中定义的颜色不同,不同图像用到的颜色是千差万别的,所谓 16 色或 256 色图像,只是表示该幅图像最多只能有 16 种或 256 种颜色。不同的图像有不同的调色板。

一个图像的调色板所含有的色彩个数取决于数字图像的量化方式。将像素点上的灰度值离散为整数,称之为量化。量化的结果反映了图像容纳的所有颜色数据。量化决定使用多大范围的数值来表示图像采样之后的每一个点,这个数值范围确定了图像能使用的颜色总数。例如,以 4 个 bit 存储一个点,就表示图像只能有 16 种颜色。数值范围越大,表示图像可以拥有更多的颜色,自然就可以产生更为精细的图像效果。通常所说的量化等级,是指每幅图像样



本量化后一共可取多少个像素点(离散的数值)或用多少个二进制数位来表示。量级越高,图像质量就越高,存储空间要求就越大。图 1.2 就是我们在本书中将大量使用到的 lenna 图像的二维矩阵。

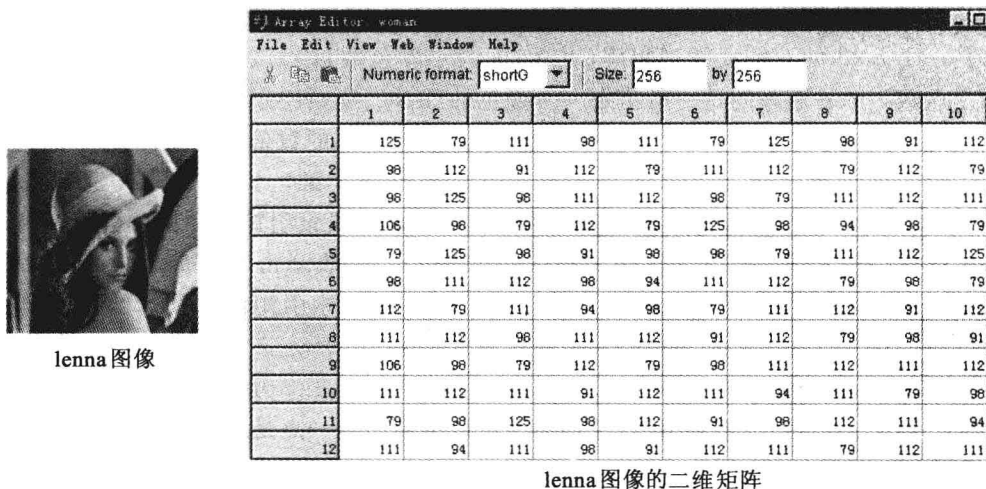


图 1.2 位图的二维矩阵表示

矢量文件只存储图像内容的轮廓部分,而不存储图像数据的每一点。例如,对于一个圆形图案,只要存储圆心的坐标位置和半径长度,以及圆形边线和内部的颜色即可。该存储方式的缺点是经常耗费大量的时间做一些复杂的分析演算工作,但图像的缩放不会影响显示精度,即图像不会失真,而且图像的存储空间较位图文件要少得多。所以,向量处理比较适合存储各种图表和工程设计图。

总体来看,位图文件是记录每一个像素的颜色值,再把这些像素点组合成一幅图像,而矢量图文件是依靠保存图形对象的位置、曲线、颜色的算法来生成的。位图占用的存储空间较矢量图要大得多,而矢量图的显示速度较位图慢。

我们针对的对象基本上是位图。前文已述,位图都可以看做一个二维数据矩阵,根据其图像调色板的存在方式及矩阵数值与像素颜色之间的对应关系,我们定义了 4 种基本的图像类型:二值图像、索引图像、灰度图像、RGB 图像。下面一一介绍其性质。

1.1.2 二值图像

二值图像顾名思义就是图像像素只存在 0,1 两个值,也叫做二进制图像。一个二值图像显然是纯黑白的。每一个像素值将取两个离散值(0 或 1)中的一个,0 表示黑,1 表示白。二进制图像能够使用无符号 8 位整型(uint8)或双精度类型(double)的数组来存储。

uint8 类型的数组通常比双精度类型的数组性能更好,因为 uint8 数组使用的内存要小得多。在 MATLAB 图像处理工具箱中,任何返回一幅二进制图像的函数都使用 uint8 逻辑数组存储该图像。图 1.3 给出



图 1.3 二进制的 lenna 图像



了二进制的 lena 图像。

1.1.3 索引图像

索引图像是一种把像素值直接作为 RGB 调色板下标的图像。一幅索引图包含一个数据矩阵 data 和一个调色板矩阵 map, 数据矩阵可以是 uint8, uint16 或双精度类型的, 而调色板矩阵则总是一个 $m \times 3$ 的双精度类型矩阵(其中, m 表示颜色数目), 该矩阵的元素都是 $[0, 1]$ 范围内的浮点数。map 矩阵的每一行指定一个颜色的红、绿、蓝颜色分量。索引图像可以把像素值直接映射为调色板数值, 每一个像素的颜色通过使用 data 的数值作为 map 的下标来获得: 数值 1 表示 map 的第一行, 数值 2 表示 map 的第二行, 依此类推。

图 1.4 是 MATLAB 自带的 woman 信号构成的图像的像素索引矩阵和调色板矩阵。woman 图像是一幅典型的索引图像。其图像矩阵大小为 256×256 , 表示由 65535 个像素点构成。调色板矩阵大小为 256×3 , 表示有 256 种颜色。我们看到图像索引矩阵的 (1,1) 单元的内容为 125, 也就是说这一点像素的颜色就是调色板矩阵的第 125 行所定义的颜色。可以看到调色板矩阵的第 125 行为 $[0.60536, 0.60536, 0.60536]$, 表示 RGB 三个分量的比重都比较重且在图像中的地位相同, 对照图 1.1 的 RGB 色彩模型可以推断出这一点是灰白色的。图 1.4 左下的 woman 图像证实了这一推断。

图像矩阵中的数值与调色板的关系依赖于图像矩阵的类型: 如果图像矩阵是双精度类型的, 那么数值 1 将指向调色板的第一行, 数值 2 将指向调色板的第二行, 依此类推; 如果图像矩阵是 uint8 或 uint16 类型的, 那么将产生一个偏移量: 数值 0 表示调色板的第一行, 数值 1 表示调色板的第二行, 依此类推。

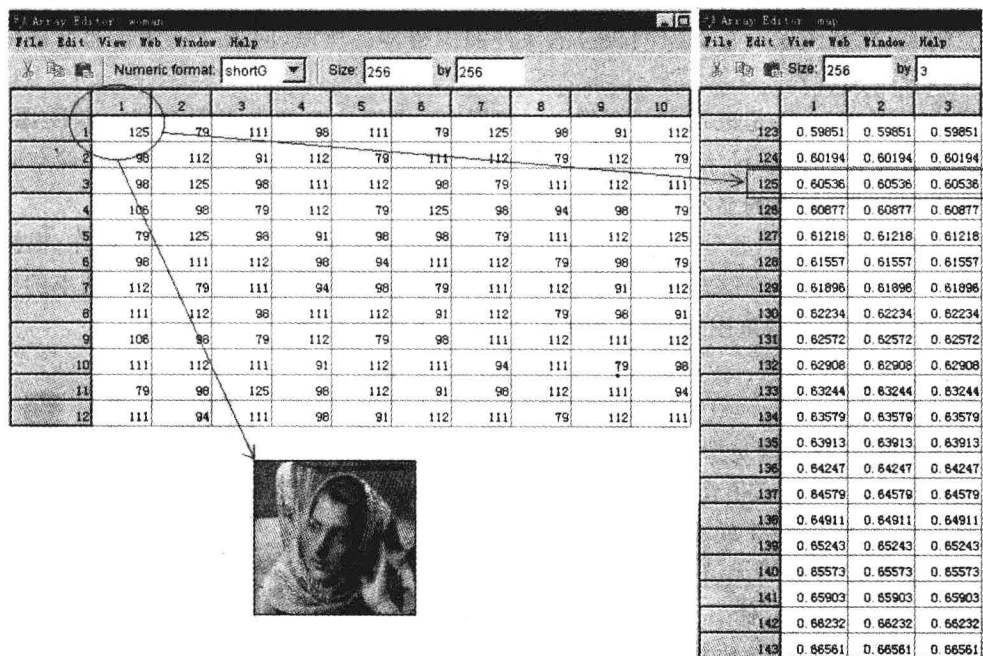


图 1.4 索引图像



在实际操作中应该注意到,调色板通常应与索引图像存储在一起;装载图像时,调色板将与图像数据一同自动装载。在 MATLAB 中以下三条对索引图像的操作语句是我们今后会大量使用的:

读取索引图像:[data, map] = imread(filename, permission);

显示索引图像:image(data), colormap(map);

存储索引图像:imwrite(data, map, filename, permission);

其中,data 为像素索引矩阵,map 为调色板矩阵,filename 为图像文件路径,permission 为图像文件格式,例如[data, map] = imread('c:\woman. bmp', 'bmp')。

1.1.4 灰度图像

灰度图像是包含灰度级(亮度)的图像。灰度就是我们通常说的亮度。与二值图像不同,灰度图像虽然在感观上给人感觉仍然是“黑白”的,但实际上它的像素并不是纯黑(0)和纯白(1)那么简单,所以相应的其一个像素也绝不是 1bit 就可以表征的。

在 MATLAB 中,灰度图像由一个 uint8, uint16 或双精度类型的数组来描述。灰度图像实际上是一个数据矩阵 I , 该矩阵的每一个元素对应于图像的一个像素点,元素的数值代表一定范围内的灰度级,通常 0 代表黑色,1, 255 或 65535(不同存储类型)代表白色。

数据矩阵 I 可以是双精度、uint8 或 uint16 类型。灰度图像存储时不使用调色板,因而 MATLAB 将使用一个默认的系统调色板来显示图像。二值图像可以看成是灰度图像的一个特例。联系到后面我们将阐述的 YCbCr 颜色模型,我们可以发现所谓灰度图像的像素值就是 YCbCr 中每个像素的亮度分量值。二者与 RGB 像素有同样的转换关系。图 1.5 是一幅灰度 lenna 图像。



图 1.5 灰度 lenna 图像

1.1.5 RGB 图像

需要说明一点的是,RGB 图像显然是符合 RGB 颜色模型的,但不是说只有 RGB 图像才符合 RGB 颜色模型,事实上前面我们已经看到,我们一般意义上说的图像都是符合这一颜色模型的。所谓 RGB 图像仅是一类图像的总称。这类图像不使用单独的调色板,每一个像素的颜色由存储在相应位置的红、绿、蓝颜色分量共同决定。RGB 图像是 24 位图像,红、绿、蓝分量分别占用 8 位,理论上可以包含 16M 种不同颜色,由于这种颜色精度能够再现图像的真实色彩,所以又称 RGB 图像为真彩图像。

在 MATLAB 中,一幅 RGB 图像由一个 uint8, uint16 或双精度类型的 $m \times n \times 3$ 数组(通常称为 RGB 数组)来描述,其中, m 和 n 分别表示图像的宽度和高度。

在一个双精度类型的 RGB 数组中,每一个颜色分量都是一个 $[0, 1]$ 范围内的数值,颜色分量为 $(0, 0, 0)$ 的像素将显示为黑色,颜色分量为 $(1, 1, 1)$ 的像素将显示为白色。每一个像素三个颜色分量都存储在数据数组的第三维中。例如,像素 $(10, 5)$ 的红、绿、蓝色分量都存储在 $RGB(10, 5, 1)$, $RGB(10, 5, 2)$, $RGB(10, 5, 3)$ 中。

为了更好地说明在 RGB 图像中所使用的 3 个不同颜色分量的作用效果,我们在 MATLAB