信息科学技术学术著作丛书

数字水印技术及其应用

蒋天发 著

科学出版社

信息科学技术学术著作丛书

数字水印技术及其应用

蒋天发 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

数字水印技术是近年来国际学术界兴起的一个前沿研究领域，与信息安全等均有密切的关系，在媒体信息版权保护、真伪鉴别、隐蔽通信、监视非法复制和电子身份认证等方面具有重要的应用价值。本书内容包括：数字水印技术概述、小波变换及其在图像数字水印中的应用、二值图像数字水印技术、基于小波变换的二值图像盲数字水印算法及图像自适应水印算法、基于三维小波变换和人类视觉系统的视频水印算法、混沌理论及其在数字水印中的应用、基于混沌的二值图像数字水印算法、MPEG-2 压缩标准和 I 帧的提取技术、基于 I 帧角点的 MPEG-2 视频水印算法、基于最佳置乱的自适应图像水印算法、基于量子计算理论图像水印算法的软件设计与功能实现、多功能图像数字水印软件著作权案例以及案例的部分源代码。书中总结了作者多年来在这一领域的研究成果和国内外同行的有关工作。

本书适合数字水印、信息安全、数字媒体产品版权保护、真伪鉴别与保密通信、模式识别与电子商务安全等领域的软件开发人员以及相关领域的科技人员和教学人员阅读，也可以作为高等院校信息技术及相关专业本科生与研究生的教材或教辅参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字水印技术及其应用/蒋天发著. —北京：科学出版社，2015
（信息科学技术学术著作丛书）
ISBN 978-7-03-045251-1

Ⅰ. ①数… Ⅱ. ①蒋… Ⅲ. ①电子计算机-密码术-研究 Ⅳ. ①TP309.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 170365 号

责任编辑：裴 育 余 丁 / 责任校对：桂伟利
责任印制：张 倩 / 封面设计：陈 敬

科学出版社 出版
北京东黄城根北街 16 号
邮政编码：100717
http://www.sciencep.com

三河市骏杰印刷有限公司印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 9 月第 一 版 开本：720×1000 1/16
2015 年 9 月第一次印刷 印张：18 1/2
字数：353 000

定价：95.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

作者简介

蒋天发，男，湖北荆门人。2002年1月被中南民族大学计算机科学学院聘为教授、硕士生导师；任国际计算机学会会员与中国计算机学会高级会员及计算机安全专业委员会委员，中国高等学校电子教育学会常务副理事长及专家学术委员会主任委员。长期从事数据库与大数据、计算机应用、高性能网络和信息安全以及数字水印技术的研究与教学工作。主持并完成国家自然科学基金项目、国家民族事务委员会与省部级科研项目15项；获得计算机软件著作权7项；出版专著与教材15部；发表学术论文100多篇，其中有30多篇被EI收录。

《信息科学技术学术著作丛书》序

21世纪是信息科学技术发生深刻变革的时代，一场以网络科学、高性能计算和仿真、智能科学、计算思维为特征的信息科学革命正在兴起。信息科学技术正在逐步融入各个应用领域并与生物、纳米、认知等交织在一起，悄然改变着我们的生活方式。信息科学技术已经成为人类社会进步过程中发展最快、交叉渗透性最强、应用面最广的关键技术。

如何进一步推动我国信息科学技术的研究与发展；如何将信息技术发展的新理论、新方法与研究成果转化为社会发展的新动力；如何抓住信息技术深刻发展变革的机遇，提升我国自主创新和可持续发展的能力？这些问题的解答都离不开我国科技工作者和工程技术人员的求索和艰辛付出。为这些科技工作者和工程技术人员提供一个良好的出版环境和平台，将这些科技成就迅速转化为智力成果，将对我国信息科学技术的发展起到重要的推动作用。

《信息科学技术学术著作丛书》是科学出版社在广泛征求专家意见的基础上，经过长期考察、反复论证之后组织出版的。这套丛书旨在传播网络科学和未来网络技术，微电子、光电子和量子信息技术、超级计算机、软件和信息存储技术，数据知识化和基于知识处理的未来信息服务业，低成本信息化和用信息技术提升传统产业，智能与认知科学、生物信息学、社会信息学等前沿交叉科学，信息科学基础理论，信息安全等几个未来信息科学技术重点发展领域的优秀科研成果。丛书力争起点高、内容新、导向性强，具有一定的原创性；体现出科学出版社“高层次、高质量、高水平”的特色和“严肃、严密、严格”的优良作风。

希望这套丛书的出版，能为我国信息科学技术的发展、创新和突破带来一些启迪和帮助。同时，欢迎广大读者提出好的建议，以促进和完善丛书的出版工作。

中国工程院院士
原中国科学院计算技术研究所所长

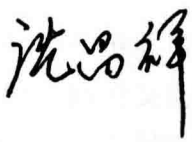
序　言

21世纪是一个网络化、信息化的时代，信息已成为现代社会发展的重要资源，而信息安全也成为21世纪国际竞争的重要战场。信息科学与技术成为最活跃的科学领域之一，信息技术改变着当代人们的生活与工作方式，信息产业成为新的经济增长点。数字水印技术是一门直接由应用推动而快速发展的新兴学科。其涉及的理论基础和技术领域十分广泛，并与信息安全、信息隐藏、数据加密、网络通信、图像处理等均有密切的关系；而信息的安全保障能力已成为一个国家综合国力的重要组成部分。

当前，以“互联网＋”为代表的计算机网络的飞速发展以及“电子政务”、“电子商务”等信息系统的广泛应用，正引起社会和经济的深刻变革；同时，人们对版权与多媒体（如图像、图形、音频、视频等）的安全性要求越来越高，由于各种破解软件等的日益更新，一些不法分子对图像等数字媒体产品的侵权也变得更加容易，给作者或版权所有者带来极大威胁。数字水印技术作为信息安全与隐藏的主流方向之一，在媒体信息版权保护、真伪鉴别、隐蔽通信、监视非法复制和电子身份认证等方面具有重要的应用价值，并为网络信息安全等开拓了新的服务空间。

当前，世界主要工业化国家中每年因计算机犯罪而造成的经济损失远远超过普通经济犯罪。国内外不法分子互相勾结侵害信息系统，已成为危害信息网络安全的普遍性、多发性事件。社会的信息化导致新的军事革命，信息战、网络战成为新的作战形式。为了保护国家的政治利益和经济利益，各国政府都非常重视信息与网络安全。我国的信息安全产业正在蓬勃发展，受到党和国家领导人的高度重视，各部门通力合作、统筹规划，大大加快了我国信息安全产业发展的步伐。随着信息安全产业的快速发展，社会对信息安全人才的需求不断增加，在高等教育领域大力推进信息安全的教育，将是国家在信息安全领域掌握自主权、占领先机的重要举措。信息安全事关国家安全，事关经济发展，必须采取措施确保信息安全。

为了增进信息安全领域的学术交流，中国计算机学会高级会员及计算机安全专业委员会委员、中南民族大学计算机科学学院蒋天发教授出版《数字水印技术及其应用》一书。我觉得该书的特点是内容全面、技术新颖、理论联系实际，集中反映了数字水印领域的新成果和新技术。



中国工程院院士

2015 年 5 月

前　言

随着互联网技术与多媒体技术的迅速发展，多媒体信息（如文字、图像、音频、视频等）逐渐成为人们获取信息的重要来源，人们可以轻松地从网络上获取各种各样的多媒体信息。与此同时，大量诸如非法复制、伪造、篡改等侵犯多媒体以及网络信息安全的问题也随之而来。这些数字信息产品的版权保护成为当前研究的一个热点，数字水印技术就是解决这一问题的有效方法。数字水印技术是在数字信息中嵌入一些标志版权所有者信息的标记，鉴别时通过计算机技术以特定的方式进行检测，以此来维护版权所有者的利益，并实现隐藏传输、秘密存储、版权保护等功能，从而很好地解决数字信息产品的知识产权保护问题。数字水印技术已经成为近年来研究的热点领域之一。

数字水印技术是近年来兴起的前沿研究领域，在多媒体信息的版权保护和完整性认证方面得到迅猛发展。数字水印技术涉及信号与数字图像处理、计算机科学、混沌学、密码学以及数据通信等领域，是一门交叉科学。目前，研究数字水印的学者已经遍布信息安全、密码学、信息与计算机科学、通信与信息系统、信号与信息处理、控制理论与控制技术、模式识别与智能系统、计算机软件与理论、软件工程、军事通信学、计算机应用技术、数字媒体设计等领域。每年都有许多数字水印方面的论著在国内外发表，有大量的科研成果产生。本书就是作者在课题研究与研究生培养中产生的相关成果的总结。

数字水印包含的内容十分丰富，很多理论与技术尚处在不断发展中，这使得本书内容的选取十分困难。本书的着眼点是通过对数字水印关键技术的介绍，即对数字水印有关算法归纳出较为详细的基本计算步骤，列举大量的算法过程，并结合相关的研究成果给出一些实例，以期使读者能够较全面地了解数字水印技术及其最新应用进展，为进一步了解和研究数字水印技术奠定基础；同时，书中又涉及数字水印技术研究的一些前沿问题，以便为读者将来的研究工作提供帮助，并推动国内对数字水印技术的深入研究。全书共 13 章，主要内容包括：数字水印技术概述、小波变换及其在图像数字水印中的应用、二值图像数字水印技术、基于小波变换的二值图像盲数字水印算法、基于小波变换的图像自适应水印算法、基于三维小波变换和人类视觉系统的视频水印算法、混沌理论及其在数字水印中的应用、基于混沌的二值图像数字水印算法、MPEG-2 压缩标准和 I 帧的提取技术、基于 I 帧角点的 MPEG-2 视频水印算法、基于最佳置乱的自适应图像水印算法、基于量子计算理论图像水印算法的软件设计与功能实现、多功能图像数字水印软件

著作权案例以及案例的部分源代码等。

感谢周迪勋教授(原武汉理工大学网络中心主任、博导)对全书的审阅;感谢沈昌祥教授(中国工程院院士、北京工业大学计算机学院名誉院长、博导)、杨义先教授(原北京邮电大学计算机学院执行院长、博导)、牛振东教授(北京理工大学计算机学院副院长、博导),以及中国软件评测中心评估师蒋巍与张博夫妇对本书出版给予的帮助以及所做的有益工作。感谢作者指导的研究生王理、熊祥光、曹文波、彭欢、何淼、郑园、刘艮、施展、颜浩、李珊珊、牟群刚、文莹莹、杨红、钱凯、黄俊坤、马颖等为本书部分章节内容的整理和算法实现所做的工作。特别感谢中南民族大学计算机科学学院院长王江晴教授,以及计算机应用技术(项目编号:JK5-2011-16)、智能算法及其应用(项目编号:XTE09009)、网络工程(项目编号:CY12001)、网络信息安全——数字水印理论与技术的研究(国家民委重点科研项目,项目编号:MZY02004)、基于本体多级地理格网的空间信息语义网格研究(国家自然科学基金面上项目,项目编号:40571128)等项目全体成员和中南民族大学离退休科研基金评审委员会全体成员,对本书出版所给予的资助与支持。

由于水平有限,书中不足之处恳请广大读者批评指正。

作　者

2015 年 5 月

目　录

《信息科学技术学术著作丛书》序
序言
前言
第 1 章　数字水印技术概述 …… 1
1.1　数字水印技术相关概念 …… 1
1.1.1　信息隐藏技术 …… 1
1.1.2　数字水印技术 …… 3
1.2　数字水印的主要特征 …… 4
1.3　数字水印的分类 …… 5
1.4　数字水印技术的应用 …… 6
1.5　数字水印面临的攻击 …… 8
1.6　数字水印的性能测评方法 …… 9
1.6.1　典型的攻击测评方法 …… 9
1.6.2　常用的失真度检测方法 …… 10
1.7　小结 …… 11
参考文献 …… 11
第 2 章　小波变换及其在图像数字水印中的应用 …… 13
2.1　小波理论基础 …… 13
2.1.1　母小波 …… 14
2.1.2　连续小波变换 …… 14
2.1.3　离散小波变换 …… 15
2.1.4　二维离散小波变换 …… 16
2.2　快速小波分解和重构算法——Mallat 算法 …… 17
2.3　图像的小波分解与小波重构 …… 17
2.3.1　图像的小波分解 …… 17
2.3.2　图像的小波重构 …… 19
2.4　小波域图像水印算法 …… 19
2.5　小结 …… 20
参考文献 …… 20

第 3 章　二值图像数字水印技术 …… 22
3.1　二值图像数字水印技术概述 …… 22
3.1.1　游程修改信息嵌入法 …… 22
3.1.2　基于图像特征修改法 …… 22
3.1.3　结构微调法 …… 23
3.1.4　图像分块信息嵌入法 …… 24
3.1.5　半色调图像信息嵌入法 …… 24
3.1.6　基于频率域水印嵌入法 …… 25
3.2　二值图像数字水印技术分析与展望 …… 26
3.3　小结 …… 26
参考文献 …… 27
第 4 章　基于小波变换的二值图像盲数字水印算法 …… 28
4.1　水印的生成 …… 28
4.1.1　水印的选择 …… 28
4.1.2　水印的置乱预处理 …… 28
4.2　小波基、分解级数及小波系数的选择 …… 31
4.3　水印的嵌入 …… 32
4.4　水印的提取 …… 34
4.5　实验结果 …… 35
4.6　小结 …… 38
参考文献 …… 38
第 5 章　基于小波变换的图像自适应水印算法 …… 40
5.1　人类视觉系统的掩蔽特性及嵌入子带的选择 …… 41
5.1.1　人类视觉系统概述 …… 41
5.1.2　嵌入子带的选择 …… 42
5.2　水印算法 …… 44
5.2.1　水印信号的选择及预处理 …… 44
5.2.2　水印的嵌入 …… 47
5.2.3　水印的提取 …… 49
5.3　仿真实验结果 …… 50
5.3.1　不可感知性实验验证 …… 50
5.3.2　鲁棒性实验验证 …… 51
5.4　小结 …… 54
参考文献 …… 54

第 6 章　基于三维小波变换和人类视觉系统的视频水印算法 …… 56
6.1　视频水印概述 …… 56
6.1.1　视频水印的特点 …… 56
6.1.2　视频水印的系统模型及几种典型的算法 …… 58
6.1.3　视频水印面临的挑战 …… 60
6.2　基于三维小波变换与 HVS 的视频水印算法 …… 61
6.2.1　水印图像的预处理 …… 62
6.2.2　视频流场景的分割 …… 62
6.2.3　视频序列的三维离散小波变换 …… 65
6.2.4　纹理区域与运动区域的划分 …… 66
6.2.5　水印的嵌入 …… 66
6.2.6　水印的提取 …… 67
6.3　仿真实验结果 …… 67
6.3.1　不可感知性实验验证 …… 68
6.3.2　安全性实验验证 …… 69
6.3.3　鲁棒性实验验证 …… 69
6.3.4　与非自适应算法的比较 …… 74
6.4　小结 …… 74
参考文献 …… 75
第 7 章　混沌理论及其在数字水印中的应用 …… 77
7.1　混沌理论基础 …… 77
7.1.1　混沌理论的发展 …… 77
7.1.2　混沌的应用 …… 78
7.1.3　混沌的定义 …… 79
7.1.4　混沌的特性 …… 81
7.2　Lyapunov 指数及常见的混沌序列 …… 81
7.2.1　Lyapunov 指数 …… 81
7.2.2　Logistic 映射 …… 82
7.2.3　混沌序列的生成 …… 83
7.3　混沌在数字水印中的应用 …… 84
7.4　小结 …… 85
参考文献 …… 85
第 8 章　基于混沌的二值图像数字水印算法 …… 87
8.1　水印的生成 …… 87

8.1.1 水印的选择 …… 87
8.1.2 水印的置乱预处理 …… 88
8.1.3 水印的混沌加密 …… 89
8.2 水印的嵌入与提取 …… 90
8.2.1 水印的嵌入 …… 90
8.2.2 水印的提取 …… 91
8.3 实验结果 …… 92
8.4 小结 …… 98
参考文献 …… 98
第 9 章 MPEG-2 压缩标准和 I 帧的提取技术 …… 100
9.1 MPEG-2 标准的关键技术 …… 100
9.1.1 去时域冗余 …… 100
9.1.2 运动补偿 …… 100
9.1.3 运动表示 …… 101
9.1.4 去空域冗余 …… 101
9.1.5 离散余弦变换 …… 101
9.1.6 MPEG-2 基本码流结构 …… 102
9.2 基于压缩域的 I 帧提取 …… 103
9.2.1 算法思路 …… 103
9.2.2 算法实现步骤 …… 103
9.3 点特征检测 …… 104
9.3.1 点特征概述 …… 104
9.3.2 基于 Harris 算子的点特征提取算法研究与实现 …… 105
9.4 小结 …… 107
参考文献 …… 107
第 10 章 基于 I 帧角点的 MPEG-2 视频水印算法 …… 109
10.1 水印的选择和预处理 …… 109
10.2 I 帧的提取与解码 …… 111
10.3 角点的检测 …… 112
10.4 数字水印的嵌入算法 …… 113
10.5 数字水印的提取算法 …… 114
10.6 仿真实验与性能评估 …… 115
10.6.1 隐蔽性测试 …… 115
10.6.2 鲁棒性测试 …… 116

10.7　关键源代码 …… 118
10.7.1　I帧编码数据的提取源代码 …… 118
10.7.2　I帧的解码源代码 …… 120
10.7.3　点特征检测源代码 …… 122
10.8　小结 …… 124
参考文献 …… 124
第11章　基于最佳置乱的自适应图像水印算法 …… 126
11.1　图像的Arnold置乱变换及其周期性 …… 126
11.2　图像置乱程度的衡量 …… 128
11.2.1　基于像素位置移动计算置乱度的局限性 …… 128
11.2.2　基于图像局部像素值方差的置乱度量法 …… 128
11.3　图像的置乱及计算置乱度实验 …… 129
11.4　水印信号的选择及最佳置乱变换预处理 …… 130
11.5　小波变换分析优势及小波基函数的选择 …… 131
11.6　人类视觉掩蔽特性的利用 …… 132
11.7　水印的嵌入算法 …… 134
11.8　水印的提取算法 …… 134
11.9　实验结果及性能评估 …… 135
11.9.1　实验结果描述 …… 135
11.9.2　性能评估描述 …… 142
11.10　关键源代码 …… 143
11.10.1　水印图像的最佳置乱及计算置乱度源代码 …… 143
11.10.2　水印的嵌入和提取源代码 …… 145
11.10.3　图像的小波分解和重构源代码 …… 151
11.10.4　计算Arnold变换周期源代码 …… 155
11.10.5　数字水印系统用户界面 …… 156
11.11　小结 …… 157
参考文献 …… 157
第12章　基于量子计算理论图像水印算法的软件设计与功能实现 …… 159
12.1　量子进化算法 …… 159
12.1.1　量子进化算法概述与量子染色体 …… 159
12.1.2　量子更新算子与量子交叉 …… 160
12.1.3　量子进化算法一般步骤 …… 162
12.1.4　量子进化算法改进 …… 162

12.1.5 基于改进 QEA 的水印嵌入过程 …… 164
12.1.6 基于改进 QEA 的水印提取过程 …… 165
12.1.7 测试结果与性能分析 …… 165
12.2 基于量子小波变换的图像水印 …… 172
12.2.1 量子图像显示及其改进 …… 172
12.2.2 量子小波变换 …… 173
12.2.3 旋转矩阵 …… 175
12.2.4 基于量子小波变换的水印嵌入过程 …… 176
12.2.5 基于量子小波变换的水印提取过程 …… 177
12.2.6 测试结果与性能分析 …… 177
12.3 基于量子计算理论图像水印系统的设计与实现 …… 184
12.3.1 系统设计 …… 185
12.3.2 系统的功能实现 …… 187
12.4 基于量子计算理论的图像水印研究展望 …… 190
12.5 小结 …… 191
参考文献 …… 191
第 13 章 多功能图像数字水印软件著作权案例 …… 193
13.1 计算机软件著作权案例概述 …… 193
13.2 多功能图像数字水印软件使用说明书 …… 195
13.2.1 多功能图像数字水印软件简要描述 …… 195
13.2.2 多功能图像数字水印软件功能简要描述 …… 196
13.2.3 多功能图像数字水印软件界面及其操作描述 …… 196
13.2.4 多功能图像数字水印软件使用注意事项 …… 203
13.2.5 多功能图像数字水印软件开发简介 …… 205
13.2.6 多功能图像数字水印软件版本及版权声明 …… 206
13.3 多功能图像数字水印软件开发主要源代码 …… 206
13.4 多功能图像数字水印软件计算机软件著作权登记证书 …… 280
参考文献 …… 280

第 1 章　数字水印技术概述

1.1　数字水印技术相关概念

1.1.1　信息隐藏技术

现代许多应用与服务都是通过计算机网络提供的，这些服务包括：视频图像、电子数据交换、网上购物等。然而，在通过计算机网络提供这些服务时，存在很严重的问题：这些服务很难进行保护——通过网络传输的数据作品极易被非法复制，这使得有恶意的个人或团体可以随意复制和传播具有版权的内容，而并未得到版权所有者的许可。因此，如何既能充分利用互联网便利性，又能有效保护知识产权就成为一个迫在眉睫的现实问题[1]。于是，信息隐藏学（information hiding）应运而生。信息隐藏是集数学、密码学、信息论、概率论、计算复杂度理论和计算机网络以及其他计算机应用技术于一体的多学科交叉的研究课题[2]。

信息隐藏[2]是把一个有意义的信息隐藏在另一个被称为载体（cover）的信息中得到隐蔽载体（stego cover）。非法者不知道这个普通信息中是否隐藏了其他信息，而且即使知道也难以提取或去除隐藏的信息。所用的载体可以是文字、图像、音频以及视频等。为增加攻击的难度，也可以把加密与信息隐藏技术结合起来。从广义上看，信息隐藏有多种含义：一是信息不可感知；二是信息的存在性隐蔽；三是信息的接收方和发送方隐蔽；四是传输的信道隐蔽等。信息隐藏就是将保密信息隐藏于另一非保密载体中，以不引起检查者的注意。广义上的信息隐藏技术包括隐写术[2]、数字水印[1]、数字指纹、隐蔽信道、阈下信道、低截获概率通信和匿名通信等。从狭义上看，信息隐藏就是将某一秘密信息秘密隐藏于另一公开的信息中，然后通过公开信息的传输来传递秘密信息[3]。

信息隐藏不同于传统的密码学技术。密码技术主要是研究如何将信息进行特殊的编码，以形成不可识别的密码形式进行传递；而信息隐藏则主要研究将某一秘密信息秘密隐藏于另一公开的信息中，然后通过公开信息的传输来传递秘密信息。对加密通信而言，可能的监测者或非法拦截者可以通过截取密文，并对其进行破译，或将密文进行破坏后再发送，从而影响信息的安全；但对信息隐藏而言，可能的监测者或非法拦截者则难以从公开信息中判断秘密信息是否存在，因而难以截获秘密信息，从而能保证信息的安全。

信息隐藏系统的一般模型如图 1.1 所示[4]。

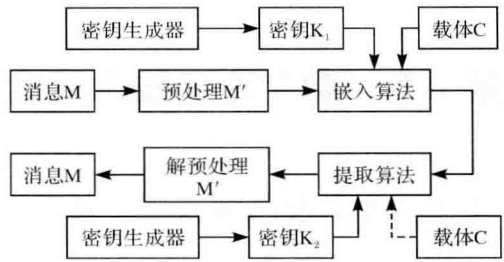


图 1.1 信息隐藏系统的一般模型

根据信息隐藏的应用可分为数字水印技术和数字隐写术(steganography)。数字水印技术是利用数字作品中普遍存在的冗余数据与随机性,向数字作品中加入不易察觉但可以判定区分的秘密信息"水印",从而起到保护数字作品版权或完整性的一种技术[1]。数字隐写术是将秘密信息隐藏在正常的载体中进行传输而不被察觉,从而不会引起攻击者的怀疑,以达到安全地隐秘通信的目的。数字隐写与传统的密码通信的最大区别在于隐蔽后的载体在外观上与普通载体基本相似,没有明显的迹象表明重要信息的存在,因此外人无法知道秘密通信的存在。对数字隐写的基本要求是要有极高的隐蔽性和足够的信息隐藏容量(capacity of information hiding),其中以隐蔽性为主要技术指标[4]。

根据信息隐藏的不同目的和技术要求,信息隐藏技术存在以下特性或要求。

(1) 安全性(security):是指隐藏算法有较强的抗攻击能力,即必须能承受一定程度的人为攻击,而使隐藏信息不被破坏。隐藏的信息内容应是安全的,应经过某种加密后再隐藏;同时隐藏的具体位置也应是安全的,至少不会因格式变换而遭到破坏。

(2) 鲁棒性(robustness):是指不因图像文件的某种改动而导致隐藏信息丢失的能力。这里的"改动"包括传输过程中的信道噪声、滤波操作、重采样、有损编码压缩、D/A 或 A/D 转换等。

(3) 不可检测性(undetectability):是指隐蔽载体与原始载体具有一致的特性。例如,具有一致的统计噪声分布,会使非法拦截者无法判断是否有隐蔽信息。

(4) 不可感知性(imperceptibility)或透明性(invisibility):是指利用人类视觉系统或人类听觉系统属性,经过一系列隐藏处理,使目标数据没有明显的降质现象,而隐藏的数据却无法看见或听见。

(5) 自恢复性(recovery):是指经过操作或变换后,原图可能会产生较大的破坏,但依据留下的片段数据仍能恢复隐藏信号,且恢复过程不需要宿主信号。

(6) 对称性:通常信息的隐藏和提取过程具有对称性,包括编码、加密方式,减