

数字水印 技术及其应用

楼偶俊 祁瑞华 邬俊 唐双童 著

清华大学出版社



数字水印 技术及其应用

楼偶俊 祁瑞华 邬俊 唐双童 著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

数字水印技术是近些年国际学术界兴起的一个前沿研究领域,与信息隐藏、数据加密、信息安全等均有密切的关系。本书主要内容包括数字水印系统的基本模型和算法分析、用于版权保护的鲁棒性透明水印,具体包括能抵抗一般性图像处理等非几何攻击的水印技术和基于特征点的抗几何攻击的水印技术、传统的 DCT 和 DWT 变换域上的数字水印技术、最新的 Contourlet 变换域水印技术、基于神经网络的半色调图像水印技术、非压缩域和压缩域空间的视频水印技术。

本书取材广泛,内容新颖,具有很强的理论性、应用性与系统性,充分反映了近几年数字水印领域的最新研究成果。可供从事数字水印、信息安全、版权保护、隐蔽通信、真伪鉴证、计算机网络安全、防复制数字图像、视频保护以及防止视频盗版等领域的科技人员与教学人员阅读、参考,也可以作为信息领域和相关领域高等院校研究生的教科书或教学辅导书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字水印技术及其应用/楼偶俊等著. —北京:清华大学出版社,2018
ISBN 978-7-302-49202-3

I. ①数… II. ①楼… 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(2017)第 330922 号

责任编辑:贾 斌 薛 阳

封面设计:何凤霞

责任校对:焦丽丽

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市国英印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:170mm×230mm 印 张:15.5 字 数:273 千字

版 次:2018 年 11 月第 1 版 印 次:2018 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~1000

定 价:69.80 元

产品编号:074681-01

前言

FOREWORD

随着网络技术与多媒体技术的迅猛发展,多媒体数据正逐渐成为人们获取信息的重要来源,并已成为人们生活的重要组成部分。应该说,多媒体数据的数字化不仅为多媒体信息的存取提供了极大的便利,而且极大提高了信息表达的效率和准确性。人们可以通过 Internet 发布自己的作品,传递重要信息,进行网络贸易等。然而,数字化的多媒体信息极易被无限制任意编辑、复制与散布。例如,现代盗版者只需轻点几下鼠标便可获得与原版一样的复制品,并以此获取暴利;而一些具有特殊意义的信息,如涉及司法诉讼、政府机要等信息,则会遭到恶意攻击和篡改伪造等。这一系列数字化技术本身的可复制和广泛传播性所带来的负面效应,已成为影响信息产业健康、持续发展的一大障碍。目前,包括版权保护、内容认证等在内的多媒体信息安全问题已变得日益突出,且已成为数字世界中非常重要和紧迫的议题。

数字水印技术是国际信息安全学术界研究的一个前沿方向,为多媒体的安全保存和传送开辟了一条全新的途径。数字水印技术是集数学、密码学、信息论、概率论、计算复杂度理论、计算机网络以及计算机应用技术于一体的多学科交叉综合性高新技术。目前还没有形成完整的理论体系,存在很多亟待解决的难题,但数字水印技术已经作为多媒体信息版权保护及完整性验证最有效的手段,成为目前国际学术界研究的一个热点。介绍数字水印技术的最新研究成果,反映当前最新的研究方向是本书的主要目标。

本书共包含 16 章。第 1 章和第 2 章介绍了数字水印的相关概念,数字水印技术的基础理论,数字水印技术常用的变换方法:提升方案小波和 DCT 变换的基本理论,并分析了国内外研究现状和发展趋势等基本问题。第 3~5 章详细介绍了三种具体的图像水印技术:提升方案小波和 DCT 的图像盲水印算法,基于峰值信噪比的迭加量化公开水印算法和基于神经网络

络的半色调图像水印算法。第6章介绍抗几何攻击的图像水印技术,包括几何攻击对图像水印技术的影响和现有的抗几何攻击算法等问题。第7~10章详细介绍了4种抗几何攻击的图像水印技术:基于归一化图像重要区域的图像水印算法,基于DWT域的抗几何攻击水印算法,基于自适应特征区域的图像水印算法和基于仿射不变特征点的抗几何攻击水印算法。第11章详细介绍了Contourlet变换的基本理论和特征,并介绍了两种基于Contourlet变换的水印技术。第12章介绍了视频水印技术的相关概念、视频水印技术研究现状和发展趋势。第13~16章详细介绍了4种视频水印技术:基于提升方案小波和HVS特性的自适应视频水印算法,基于特征区域的抗几何攻击视频水印算法,基于帧差纹理方向的自适应视频水印算法和基于运动特征的视频水印算法。

本书内容具有如下特点。

(1) 内容新颖。本书内容主要是对近几年最新的数字水印理论与技术进行介绍,而不是大量地介绍熟知的论文与方法。

(2) 内容全面。本书既介绍了基于图像内容的一代水印技术,又介绍了基于特征的第二代水印技术;既介绍了对于常规图像处理具有鲁棒性的水印技术,又介绍了对几何攻击具有高鲁棒性的基于特征的抗几何攻击水印技术;既介绍了图像水印技术,又介绍了非压缩中的视频水印技术和压缩域空间的视频水印技术等。

(3) 理论性强。本书介绍了许多与数字水印相关的基础理论,例如水印技术的基本框架、水印技术的评价系统、Contourlet变换、提升方案小波、特征点提取算法、视频压缩编码国际标准等。

借本书出版之际,衷心感谢王相海教授和王钺旋教授在本书编写过程中给予的指导、支持和鼓励,同时感谢崔东峰、陈恒、景雨、巩庆志、李绍华给予的帮助和启发。

本书的出版得到了大连外国语大学出版资助项目(2016CBZZ05)、国家自然科学基金项目(61501082)、辽宁省自然科学基金项目(20170540232)、辽宁省教育厅科学研究一般项目(L2015137)和辽宁省社会科学规划基金项目(L15CGL009)的资助,在此表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免会有疏漏与不妥之处,欢迎读者不吝指正。

目 录

CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 数字水印技术相关概念	1
1.2 数字水印的研究现状	3
1.3 数字水印技术的发展趋势	9
小结	11
参考文献	11
第 2 章 数字水印技术的基本理论	18
2.1 数字水印技术的特点	18
2.2 数字水印技术的基本框架	19
2.3 数字水印系统的性能评价	22
2.4 数字水印检测的错误概率	24
2.5 数字水印技术的分类	25
2.6 数字水印技术算法攻击分析	26
2.7 视觉系统的掩蔽特性	28
2.8 DCT 和提升方案小波变换简介	30
2.8.1 小波变换	30
2.8.2 离散余弦变换	32
小结	33
参考文献	33
第 3 章 提升方案小波和 DCT 的图像盲水印算法	36
3.1 引言	36

3.2	基于 HVS 的自适应水印嵌入策略	37
3.3	水印嵌入和提取算法	39
3.3.1	水印嵌入	39
3.3.2	水印提取与检测	40
3.4	实验结果	40
3.4.1	水印嵌入和提取的效果	41
3.4.2	对 JPEG 有损压缩的鲁棒性测试	42
3.4.3	对噪声攻击的鲁棒性测试	42
3.4.4	对剪切攻击的鲁棒性测试	43
3.4.5	对锐化增强的鲁棒性测试	43
3.5	讨论	44
	小结	44
	参考文献	45
第 4 章	基于峰值信噪比的迭加量化公开水印算法	46
4.1	引言	46
4.2	水印嵌入算法	47
4.2.1	水印混沌置乱	47
4.2.2	水印的嵌入	48
4.2.3	量化步长的确定	51
4.3	水印提取过程	53
4.3.1	水印提取	53
4.3.2	相关检测	53
4.4	实验结果	54
4.4.1	水印嵌入和提取结果	54
4.4.2	抗攻击实验	55
4.5	讨论	55
	小结	57
	参考文献	57
第 5 章	一种基于神经网络的半色调图像水印算法	58
5.1	引言	58
5.2	基于神经元的半色调处理算法	59

5.2.1 半色调调制	59
5.2.2 基于神经元的误差扩散核	60
5.3 基于神经元误差扩散核的半色调图像算法	62
5.3.1 数字水印的嵌入	62
5.3.2 数字水印的提取	63
5.4 实验结果	64
5.4.1 检测性能测试	64
5.4.2 抗攻击能力测试	65
小结	66
参考文献	66
第 6 章 抗几何攻击的图像水印算法概述	68
6.1 引言	68
6.2 抗几何攻击图像水印算法研究现状	70
6.2.1 基于攻击校正的水印方法	70
6.2.2 基于不变性的水印方法	74
小结	80
参考文献	80
第 7 章 基于归一化图像重要区域的图像水印算法	85
7.1 引言	85
7.2 图像归一化技术简介	86
7.3 归一化图像重要区域的确定	88
7.4 基于归一化图像重要区域的数字水印算法	89
7.4.1 数字水印的嵌入	90
7.4.2 数字水印的提取	92
7.5 实验结果	93
7.5.1 检测性能测试	93
7.5.2 抗攻击能力测试	94
小结	96
参考文献	96

第 8 章 基于 DWT 域的抗几何攻击水印算法	98
8.1 引言	98
8.2 特征点模板的提取	99
8.2.1 Harris 算子	100
8.2.2 特征尺度	100
8.2.3 改进的 Harris-Laplace	101
8.2.4 特征点模板的确定	102
8.2.5 特征点匹配	103
8.3 几何攻击的参数估计和校正	103
8.4 水印嵌入	105
8.5 水印检测	107
8.6 实验结果	108
8.7 讨论	113
小结	114
参考文献	114
第 9 章 基于自适应特征区域的图像水印算法	116
9.1 引言	116
9.2 基于尺度空间特征点的局部特征区域划分	117
9.2.1 自动尺度选择和尺度不变特征点	117
9.2.2 局部特征区域的自适应划分	118
9.3 基于特征点的图像水印算法	118
9.3.1 数字水印的嵌入	119
9.3.2 数字水印的检测	120
9.4 实验结果	122
9.4.1 检测性能测试	122
9.4.2 抗攻击能力测试	123
小结	126
参考文献	126
第 10 章 基于仿射不变特征点的抗几何攻击水印算法	128
10.1 引言	128

10.2	Harris-Affine 检测算子	129
10.2.1	仿射高斯尺度空间	129
10.2.2	仿射自相关矩阵	129
10.3	特征点和特征区域的提取	131
10.4	局部特征区域的自适应划分	133
10.5	水印嵌入	133
10.6	水印检测	135
10.7	实验结果	136
10.8	讨论	139
小结		139
参考文献		140
第 11 章	基于 Contourlet 变换域的水印算法	141
11.1	引言	141
11.2	Contourlet 变换	142
11.2.1	拉普拉斯金字塔滤波器组	144
11.2.2	方向滤波器组	144
11.2.3	金字塔方向滤波器组	146
11.2.4	Contourlet 变换的特性	147
11.3	基于 Contourlet 变换域的自适应水印算法	149
11.3.1	水印嵌入	149
11.3.2	水印检测	151
11.3.3	实验结果	152
11.3.4	讨论	156
11.4	基于特征点模板的 Contourlet 域抗几何攻击水印算法	157
11.4.1	特征点模板的提取	157
11.4.2	特征点模板的匹配	159
11.4.3	几何攻击参数的估计和校正	160
11.4.4	水印嵌入	161
11.4.5	水印检测	162
11.4.6	实验结果	162
11.4.7	讨论	167
小结		168

参考文献	168
第 12 章 视频水印技术简介	170
12.1 引言	170
12.2 视频水印技术相关概念	171
12.2.1 视频水印技术的基本特点	171
12.2.2 视频水印技术的分类	172
12.2.3 视频水印的攻击方式	173
12.2.4 视频压缩编码国际标准	175
12.2.5 MPEG 标准系列	176
12.2.6 视频水印技术的应用领域	177
12.3 视频水印算法回顾	179
12.4 视频水印技术的研究趋势	182
小结	183
参考文献	183
第 13 章 基于提升方案小波和 HVS 特性的自适应视频 水印算法	186
13.1 引言	186
13.2 算法概述	187
13.3 水印图像预处理	188
13.4 视频流预处理	190
13.4.1 视频场景分割	190
13.4.2 视频帧小波变换	190
13.4.3 视频帧图像小波域重要系数的确定	191
13.5 水印嵌入自适应性处理	192
13.5.1 纹理区域的分类	192
13.5.2 运动区域分类	193
13.6 算法实现	194
13.6.1 水印嵌入	194
13.6.2 水印提取	195
13.6.3 实验结果	196
13.7 讨论	199

小结	199
参考文献	200
第 14 章 基于特征区域的抗几何攻击视频水印算法	201
14.1 引言	201
14.2 几何攻击参数的估计和校正	202
14.2.1 特征区域的检测	202
14.2.2 旋转角的估计	204
14.2.3 尺度变换参数的估计	205
14.2.4 平移尺度的估计	205
14.3 水印嵌入过程	206
14.3.1 水印混沌置乱处理	206
14.3.2 水印嵌入	207
14.3.3 量化步长确定	209
14.4 水印检测过程	209
14.5 实验结果	211
14.6 讨论	213
小结	213
参考文献	214
第 15 章 基于帧差纹理方向的自适应视频水印算法	215
15.1 引言	215
15.2 不可见噪声块的确定	215
15.3 水印嵌入过程	217
15.3.1 嵌入帧的选择	217
15.3.2 嵌入块的选择	217
15.3.3 嵌入位置的选择及嵌入公式	219
15.3.4 进一步保证鲁棒性的嵌入策略	220
15.4 水印提取过程	220
15.4.1 水印的提取	220
15.4.2 水印的相似度检测	221
15.5 实验结果	222
小结	226

参考文献	226
第 16 章 基于运动特征的视频水印算法	227
16.1 引言	227
16.2 不同运动对象区域的确定	227
16.2.1 聚类分析	228
16.2.2 分类方法	228
16.2.3 分类的作用	229
16.3 水印嵌入过程	229
16.4 水印检测	231
16.5 实验结果	232
小结	236

1.1 数字水印技术相关概念

随着因特网和多媒体技术的发展,数字多媒体信息(图像、视频、音频等)的存储、复制与传播变得非常便利。人们可以通过网络发布自己的多媒体作品,传递各种信息,进行网络贸易等。数字技术的飞速发展以及互联网的普及,给人们的生活和工作带来巨大便利,但随之而来的副作用也十分明显。例如,任何人都可以通过网络轻而易举地获取他人的原始作品,尤其是数字化的图像、音乐、电影等,盗用者不但可以通过非法手段获取电子数据,而且可以未经作者的同意对原作品任意地加以复制、修改、生产和再传输等,这些不法行为严重地侵害了作者的著作权,给版权所有带来巨大的经济损失,也给信息安全造成强烈的冲击。如何既充分利用网络的便利,又能有效地保护知识产权,已受到人们的高度重视。因此,迫切需要一种新的技术来保护数字化作品的版权、真实性和完整性,以及用户的隐私、产权和财产安全等。目前,包括版权保护、内容认证等在内的多媒体信息安全问题变得日益突出,已成为数字世界中一个非常重要和紧迫的议题。

多媒体信息安全是集数学、密码学、信息论、概率论、计算复杂度理论、计算机网络以及计算机应用技术于一体的多学科交叉、综合性高的新技术。多媒体信息安全技术主要包括两方面内容:多媒体加密技术和多媒体数字水印技术。其中,多媒体加密技术就是将明文数据(多媒体数据)加密成密文数据,使得在网络传递过程中非法拦截者无法从中获得信息,从而达到保密的目的。由于多媒体加密技术是将多媒体数据加密后再进行传送,从而使没有密钥的人难以获取加密信息,它限制了多媒体数据信息的交流,而且存在保护范围较小、安全性不足和流通性较差等弱点。因此,多媒体加密技

术只能解决数字信息内容的保密,却无法解决多媒体信息的版权保护和内容认证等问题。

目前,数字水印技术(Digital Watermarking)已成为国际信息安全学术界研究的一个前沿方向,为多媒体的安全保存和传送开辟了一条全新的途径^[1-3]。数字水印通过在原始数据中嵌入版权信息,即水印来保证该数据信息的所有权,这种被嵌入的水印可以是一段文本、标识、序列号、图像等各种数字信号。而且这种水印通常是不可见的,它与原始数据紧密结合并且隐藏在其中,可以经历一些不破坏原数据使用价值或商用价值的操作而能保存下来。在需要时,能够通过一定的技术检测方法提取出水印,以此作为判断媒体的版权归属和跟踪起诉非法侵权的证据。数字水印为多媒体数据文件在认证、防伪、防篡改、保障数据安全和完整性等方面提供了有效的技术手段。

数字水印技术的研究既有学术上的意义,更有实际的应用价值。

从学术上看,数字水印技术是新兴交叉学科——信息隐藏技术的一个主要分支^[4]。信息隐藏作为一种新的信息安全技术,它与传统的密码学之间存在本质的区别:密码学是对信息的内容加以保密,一个显著的弱点是密文容易引起攻击者的注意;而信息隐藏是对信息本身或信息的存在位置的保密,数字水印是这门新兴交叉学科的一个重要分支。因此,数字水印的理论与应用研究有利于信息隐藏技术的应用及发展。

此外,从实际应用上来看,数字水印潜在的主要应用领域如下。

(1) 版权保护^[5-9]。版权标识水印是目前研究最多的一类数字水印。由于数字作品的复制、修改非常容易,而且可以做到与原作完全相同,所以原创者不得不采用一些严重损害作品质量的办法来加上版权标志,而这种明显可见的标志很容易被篡改。数字作品的所有者可用密钥产生一个水印,并将其嵌入原始数据,然后公开发布其水印版本作品。当该作品被盗版或出现版权纠纷时,所有者即可从盗版作品中获取水印信号作为依据,从而保护所有者的权益。目前用于版权保护的数字水印技术已经进入了初步实用化阶段,IBM 公司在其《数字图书馆》软件中就提供了数字水印功能,而 Adobe 公司也在其著名的 Photoshop 软件中集成了 Digimarc 公司的数字水印插件。

(2) 内容认证^[10,11]。如果数字水印不具有鲁棒性,则当数字媒体受到处理时,嵌入到其中的水印信息不可避免地会被破坏;根据水印被破坏的情况可以对数字媒体进行内容认证。此时,数字水印具有易碎性(或是半易碎

性):对改变媒体内容的处理不具有任何鲁棒性,对不改变媒体内容的处理具有一定的鲁棒性,在此方面优于数字签名技术。

(3) 加指纹^[12-15]。如果嵌入到数字媒体中的数字水印用以标记媒体的使用者,当出现侵权行为时,通过检测水印信息便可跟踪盗版。此时数字水印被称为数字指纹,它要求水印信息具有很高的鲁棒性。为避免未经授权的复制、制作和发行,出品人可以将不同用户的 ID 或序列号作为数字指纹嵌入作品的合法副本中。一旦发现未经授权的副本,就可以根据此副本所恢复出的指纹来确定它的来源。

(4) 篡改提示^[16]。当数字作品被用于法庭、医学、新闻及商业时,常需确定它们的内容是否被修改、伪造或特殊处理过。为实现该目的,通常可将原始图像分成多个独立块,在每个块中加入不同的水印。同时可通过检测每个数据块中的水印信号来确定作品的完整性。与其他水印不同的是,这类水印必须是脆弱的,并且在检测水印信号时,不需要原始数据。

(5) 标题与注释^[17,18]。即将作品的标题、注释等内容以水印形式嵌入该作品中,这种隐式注释不需要额外的带宽,且不易丢失。

(6) 使用控制^[9]。这种应用的一个典型的例子是 DVD 防复制系统,即将水印信息加入 DVD 数据中,这样 DVD 播放机即可通过检测 DVD 数据中的水印信息而判断其合法性,从而保护制造商的商业利益。

(7) 商务交易中的票据防伪^[19]。随着高质量图像输入输出设备的发展,特别是高精度彩色喷墨、激光打印机和高精度彩色复印机的出现,使得货币、支票以及其他票据的伪造变得更加容易。

随着水印技术研究的深入,已有许多不同的优秀算法,但大多数水印算法只不过具有对抗一般信号处理的稳健性。它们甚至不能抵抗微小的几何攻击,水印对抗几何攻击仍是一个十分困难且极具挑战性的课题。对该课题的研究刚起步不久,如何解决在恰当变换域中的抗几何攻击问题具有重要意义。因此,无论从学术上还是从应用上,研究鲁棒性的数字水印技术都是十分有意义的。

1.2 数字水印的研究现状

数字水印的产生最初是源于对数字产品的版权保护。其起源可追溯到 1954 年, Muzak 公司的 Emil H. M. 为自己的音乐作品添加了水印,并申请

了一项专利。但直到 20 世纪 90 年代,数字水印才作为一个研究课题得到了足够的重视,Tanka K. 等^[20]在 1990 年、Caronni G.^[21]与 Tirkel A.^[22]等在 1993 年先后发表了第一批研究数字水印技术的文章。1994 年发表了第一篇明确的以 Digital Watermarking 命名的论文^[23]。之后,便出现了“数字水印”。

由于数字水印技术的研究具有重要的学术价值和广阔的应用前景,得到了学术界的广泛重视。1996 年,权威国际会议 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) 开始把水印技术作为专题以及第一届信息隐藏国际会议的召开,标志着水印技术成为信息技术领域一个重要的研究方向。

在美国,以麻省理工学院媒体实验室为代表的一批研究机构和企业已经申请了数字水印方面的专利。1998 年,美国政府报告中出现了第一份有关图像数据隐藏的 AD 报告。目前,已支持或开展数字水印技术研究的机构既有政府部门,也有大学和知名企业,它们包括美国财政部、美国版权工作组、美国空军研究院、美国陆军研究实验室、德国国家信息技术研究中心、日本 NTT 信息与通信系统研究中心、麻省理工学院、伊利诺依大学、明尼苏达大学、剑桥大学、瑞士洛桑联邦工学院、西班牙 Vigo 大学、IBM 公司 Watson 研究中心、微软公司剑桥研究院、朗讯公司贝尔实验室、CA 公司、Sony 公司、NEC 研究所,以及荷兰飞利浦公司等。

我国学术界对数字水印技术的研究与发展也非常快,已经有相当一批有实力的科研机构投入到这一领域的研究中来。为了促进数字水印及其他信息隐藏技术的研究和应用,1999 年 12 月,我国信息安全领域的何德全院士、周仲义院士、蔡吉人院士与有关应用研究单位联合发起召开了我国第一届信息隐藏学术研讨会。2000 年 1 月,由国家“863”智能机专家组和中国科学院自动化所模式识别国家重点实验室组织召开了数字水印学术研讨会,来自国家自然科学基金委员会、国家信息安全测评认证中心、中国科学院、北京邮电大学、国防科技大学、清华大学、北方工业大学、上海交通大学、天津大学、中国科技大学、北京大学、北京理工大学、中山大学、北京电子技术应用研究所等单位的专家学者和研究人员深入讨论了数字水印的关键技术,报告了各自的研究成果。从这次会议反映的情况上看,我国相关学术领域的研究与世界水平相差不远,而且有自己独特的研究思路。

到目前为止,数字水印从研究对象上看主要涉及图像水印^[24-28]、视频水印^[29-33]、音频水印^[34,35]、文本水印^[36,37]等几个方面,其中大部分的水印研究和论文都集中在图像方面,其原因在于图像是最基本的多媒体数据,且互联