

# 数字水印相关检测的可靠性研究

刘 彤, 裘正定

(北方交通大学信息所, 北京 100044)

**摘 要:** 目前大多数图像水印算法根据经验值确定水印相关检测时的检测门限, 并且只能通过实验结果检验算法性能. 本文分析了图像和水印的随机过程模型, 给出了水印相关检测的统计特性, 在此基础上描述了水印能量、检测门限及水印检测器误码率之间的关系, 从理论上确定为保证一定的误码率而应嵌入的水印能量; 对于退化的水印图像, 也可根据所期望的误码率确定判决门限. 因此本文对水印的相关检测的可靠性分析具有一定的普遍性.

**关键词:** 数字水印; 相关检测; 误码率; 可靠性; 判决门限

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 05-0685-04

## The Reliability Analysis of Correlation Based Digital Watermarking Detection

LIU Tong, QIU Zheng-ding

(Institute of Information Science, Northern Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Most current image watermarking schemes determine the detection threshold in experience, and test the algorithm performance only by experimental results. In this paper, we analyzed the stochastic process models of image and watermark, present the statistical property of watermark correlation detection, and describe the connection of watermark energy, decision variable and watermark correlator. Probabilities of incorrect detections are expressed in terms of watermark to image power ratio statistical properties. With the result of this paper, we can determine the watermark energy given the permitted bit error rate, and adaptively determine the threshold of the corrupted watermarked images.

**Key words:** digital watermarking; correlation detection; bit error rate; reliability; decision variable

### 1 引言

当前, 在计算机网络迅速发展、多媒体信息渗透到社会各领域的情况下, 数字水印技术作为保护电子产品版权与著作权的“最后一道防线”, 成为信息安全领域一个新的研究热点<sup>[1~4]</sup>. 数字水印技术是利用人类知觉系统(HVS 或 HAS)的冗余, 通过一定的算法将一些标志性信息(作者的版权标志、产品序列号等)直接嵌到多媒体信息(图像、文本、音频、视频)当中, 但不影响原内容的价值和使用, 并且不能被人的知觉系统觉察到. 即使在加密和版权保护机制失效的情况下, 人们仍可根据水印中含有的版权信息找到版权所有者或为盗版提供多媒体数据的用户<sup>[3]</sup>.

目前已经提出的水印算法, 大多数采用扩频序列作为水印信息. 由于扩频码的随机性、扩频信号的宽带性, 扩频水印的安全性很高; 另外, 利用扩频序列的正交性, 可在多媒体中嵌入多重水印, 并能高可靠性下分别检测出来<sup>[1~7]</sup>.

水印检测通常采用相关检测的方法, 并可归结为二元假设问题, 将漏警概率(水印存在但未能检测到)和虚警概率(水印不存在但误判为存在)作为衡量检测性能的指标<sup>[2,5,7]</sup>. 一个安全的水印检测系统应该至少满足以下要求: 首先, 水印系统具有较高的安全性, 只有合法用户才能检测或提取水印; 其

次, 水印检测器具有较高的可靠性, 它的漏警概率和虚警概率都应该足够小; 最后, 很多水印系统在检测端是无法参考原始数据的, 因此要求采用盲检测的方法.

对于一个特定的水印检测算法, 若给定水印检测器的误码率, 应该能够确定系统所需的水印能量及检测门限的大小. 目前已经提出的图像水印算法, 大多预先设定水印序列的长度, 并且根据经验值来确定检测门限, 因此算法性能只能通过实验进行检验. 本文从高斯过程的角度提出了图像水印相关检测可靠性的估计方法, 描述了水印能量、检测门限及检测器误码率之间的关系, 比较全面地解决了水印检测中的误码率估计及确定检测门限的问题, 具有一定的指导意义.

### 2 图像和水印的统计特性分析

#### 2.1 图像的统计模型

设  $A$  为图像元素  $v(n)$  的集合,  $A$  既可代表空域或频域内的整幅图像, 也可表示图像的子集, 如图像的部分变换系数.  $N$  表示  $A$  的大小,  $v(n)$  表示彩色图像的 YUV 或 RGB 向量, 或灰度图像的亮度值. 简单起见本文只讨论灰度图像的情况.

假设图像是具有各态历经性的广义平稳离散随机过程<sup>[1]</sup>, 自相关函数为:

$$R_v, v(n, m) = E[v(n)v(m)] \quad (1)$$

令  $\tau = m - n$  表示元素间的相关距离, 则  $R_{v,v}$  是  $\tau$  的函数, 即:

$$R_{v,v}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{n \in A} v(n) v(n + \tau) \quad (2)$$

令  $\mu$  表示图像的均值或 DC 分量,  $\sigma^2$  表示图像的方差:

$$\mu = E[v(n)] = \frac{1}{N} \sum_{n \in A} v(n) \quad (3)$$

$$\sigma^2 = E[v^2(n)] - \mu^2; \quad (4)$$

令  $\tilde{v}(n) = v(n) - \mu$  为图像的 AC 分量, 则  $\tilde{v}(n)$  的均值和相关函数分别为:

$$E[\tilde{v}(n)] = E[v(n) - \mu] = 0 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} R_{\tilde{v},\tilde{v}}(\tau) &= \frac{1}{N} \sum_{n \in A} \tilde{v}(n) \tilde{v}(n + \tau) \\ &= \frac{1}{N} \sum_{n \in A} [v(n) - \mu][v(n + \tau) - \mu] \\ &= \frac{1}{N} \sum_{n \in A} [v(n)v(n + \tau) - \mu v(n) - \mu v(n + \tau) + \mu^2] \\ &= R_{v,v}(\tau) - \mu^2 \end{aligned} \quad (6)$$

根据文献[1]/[2], 图像的自相关函数  $R_{v,v}(\tau)$  可写如下

$$R_{v,v}(\tau) = \mu^2 + \sigma^2 \alpha^{|\tau|} \quad (7)$$

其中  $\alpha$  表示图像像素之间的相关程度,  $\alpha \approx 0.9 \dots 0.99$ . 由式(6)、(7)可得:

$$R_{\tilde{v},\tilde{v}}(\tau) = \sigma^2 \alpha^{|\tau|} \quad (8)$$

## 2.2 水印的统计模型

目前算法大多将水印信号看作独立于图像的加性高斯白噪声(AWGN). 水印通常由密钥控制的伪随机数发生器或混沌系统产生, 具有不可预测的随机性. 定义水印信号为:  $W = \{w(n) | w(n) \in U\}$ , 可以是二值序列,  $U = \{0, 1\}$  或  $U = \{-1, 1\}$ , 或者是伪随机高斯噪声<sup>[3]</sup>, 也可以是具有直观意义的图标(大小为  $p \times q$ ),  $U = \{I(i, j), 0 \leq i \leq p, 0 \leq j \leq q\}$ . 作为水印的图标可以转化为二值码流<sup>[6]</sup>, 再扩频到图像的元素集合中, 因此仍可看做附着在图像上的加性噪声. 水印  $w(n)$  与图像像素  $v(n)$  是一一对应的关系, 因此水印序列的长度也为  $N$ .

假设为水印的均值为  $D_0$ , 方差为:

$$D_0 = E[w(n)] = \frac{1}{N} \sum_{n \in A} w(n) \quad (9)$$

$$\sigma_w^2 = E[w^2(n)] - D_0^2 \quad (10)$$

定义水印的相关函数为:

$$R_{w,w}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{n \in A} w(n) w(n + \tau) \quad (11)$$

则水印信号的总能量为:

$$E_w = \sum_{n \in A} w^2(n) = NR_{w,w}(0) \quad (12)$$

水印的白噪声性质使它的相关函数类似于  $\delta$  函数, 即:

$$R_{w,w}(\tau) = \frac{E_w}{N} \delta(\tau) \quad (13)$$

水印的平均功率  $E_w/N$  相当于白噪声的谱密度.

## 3 水印相关检测的统计模型

### 3.1 水印的嵌入

水印的嵌入是利用嵌入算法, 用水印信息修改图像空域象素值或变换域系数, 如图 1 所示.

水印的嵌入可简化为:

$$v'(n) = v(n) + \theta(n)w(n) \quad (14)$$

其中  $\theta(n)$  是嵌入强度, 可以为常数<sup>[2,3]</sup>, 也可以是根据 HVS 选择的权重函数<sup>[4]</sup>. 为了描述方便, 这里令  $\theta(n) = 1$ ;  $v'(n)$  表示被水印修改后的图像象素或频域系数.

### 3.2 水印相关检测的统计模型

假定合法用户在检测端利用密钥生成与原始水印序列完全一样的参考水印  $\hat{w}(n)$ . 水印检测器相当于匹配滤波器, 如图 2 所示.

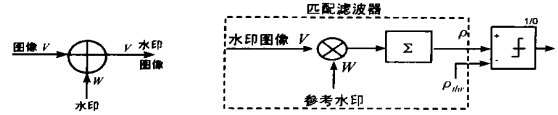


图 1 水印的嵌入框图

图 2 水印相关检测框图

当参考水印与嵌在图像中的水印序列相匹配时, 检测器输出的信噪比最大. 将判决变量与预先设定的判决门限进行比较, 如果大于判决门限, 则说明水印存在. 水印图像与参考水印的相关函数表示为:

$$R_{w,v'}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{n \in A} \hat{w}(n) v'(n + \tau) \quad (15)$$

在理想状况下(水印图像未受到攻击, 退化图像的相关检测在下一小节讨论), 若参考水印与嵌在图像中的水印完全相同, 即  $\hat{w}(n) = w(n)$ , 则判决变量为:

$$\begin{aligned} \rho_{w,v'} &= R_{w,v'}(0) = \frac{1}{N} \sum_{n \in A} w(n) v'(n) = \frac{1}{N} \sum_{n \in A} w(n) w(n) + \frac{1}{N} \\ &\quad \cdot \sum_{n \in A} w(n) v(n) = \rho_{ww} + \rho_{wv} \end{aligned} \quad (16)$$

因为  $w(n)$  和  $v(n)$  是相互独立的随机变量, 所以  $\rho_{ww}$  与  $\rho_{wv}$  也相互独立, 因此:

$$E\rho_{w,v'} = E\rho_{ww} + E\rho_{wv} \quad (17)$$

$$\sigma_{w,v'}^2 = \sigma_{ww}^2 + \sigma_{wv}^2 \quad (18)$$

式(17)同时说明设计者应尽量采用零均值的水印序列, 这样水印不改变宿主信号的均值, 使水印系统具有更高的鲁棒性和更好的检测性能. 由于:

$$\rho_{ww} = \frac{1}{N} \sum_{n \in A} w(n) w(n) = R_{w,w}(0) = \frac{E_w}{N} \quad (19)$$

为一常数, 因此:

$$E\rho_{ww} = \frac{E_w}{N}, \quad \sigma_{ww}^2 = 0 \quad (20)$$

$$E\rho_{wv} = \frac{1}{N} E\left[\sum_{n \in A} w(n) v(n)\right] = \frac{1}{N} \sum_{n \in A} E[w(n)] E[v(n)] = \mu D_0 \quad (21)$$

对于 DC 分量为 0 的二值水印  $w(n) \in \{-1, 1\}$ , 则  $E\rho_{wv} = 0$ .

$$\begin{aligned} E\rho_{wv}^2 &= E\left[\left(\frac{1}{N} \sum_{n \in A} w(n) v(n)\right)^2\right] \\ &= \frac{1}{N^2} E\left[\sum_{n,m \in A} w(n) v(n) w(m) v(m)\right] \\ &= \frac{1}{N^2} E\left[\sum_{n,m \in A} w(n) (\tilde{v}(n) + \mu) w(m) (\tilde{v}(m) + \mu)\right] \\ &= \frac{1}{N^2} E\left[\sum_{n,m \in A} w(n) \tilde{v}(n) w(m) \tilde{v}(m)\right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\mu}{N^2} E \left[ \sum_{n, m \in A} w(n) w(m) \tilde{v}(n) \right] \\
& + \frac{\mu}{N^2} E \left[ \sum_{n, m \in A} w(n) w(m) \tilde{v}(m) \right] \\
& + \frac{\mu^2}{N^2} E \left[ \sum_{n, m \in A} w(n) w(m) \right] \quad (22)
\end{aligned}$$

由式(5)知第 2, 3 项为 0, 由式(9)得第 4 项为  $\mu^2 D_0^2$ , 因此:

$$\begin{aligned}
E \rho_{wv}^2 &= \frac{1}{N^2} E \left[ \sum_{n, m \in A} w(n) \tilde{v}(n) w(m) \tilde{v}(m) \right] + \mu^2 D_0^2 \\
&= \frac{1}{N} E \left[ \sum_{\tau} R_{w, w}(\tau) R_{\tilde{v}, \tilde{v}}(\tau) \right] + \mu^2 D_0^2 \quad (23)
\end{aligned}$$

因此:

$$\sigma_{w, v'}^2 = \sigma_{wv}^2 - (E \rho_{wv})^2 = \frac{1}{N} \sum_{\tau} R_{w, w}(\tau) R_{\tilde{v}, \tilde{v}}(\tau) \quad (24)$$

由(8)、(13)得:

$$\sigma_{wv}^2 = \frac{1}{N} \sum_{\tau} \frac{E_w}{N} \delta(\tau) \sigma_a^2 = \frac{E_w \sigma^2}{N^2} \quad (25)$$

### 3.3 水印相关检测的可靠性分析

水印的相关检测器可按照最佳判决规则进行设计, 使其具有最小的错误概率. 给定一幅水印图像  $I$  和水印  $W$ , 存在两种假设:

$H_0$ : 图像  $I$  中不含有水印  $W$  (图像中不含有水印或者含有其它水印):  $v'(n) = v(n)$  或  $v'(n) = v(n) + w'(n)$ , 这里  $w'(n) \neq w(n)$ .

$H_1$ : 图像  $I$  中含有水印  $W$ :  $v'(n) = v(n) + w(n)$ .

根据中心极限定理,  $\rho_{w, v'}$  满足正态分布. 由 3.2 节可知:

$$\begin{aligned}
\mu_{wv'0} &= E[\rho_{w, v'} | H_0] = E \rho_{wv} = \mu D_0 \\
\mu_{wv'1} &= E[\rho_{w, v'} | H_1] = E \rho_{wv} + E \rho_{wv} = \mu D_0 + E_w / N \\
\sigma_{w, v'}^2 | H_0 &= \sigma_{w, v'}^2 | H_1 = \sigma_{wv}^2 = \frac{E_w}{N^2} \sigma^2 \quad (26)
\end{aligned}$$

因此水印相关检测的概率密度函数为:

$$\begin{aligned}
f_1(\rho) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{wv}^2}} \exp \left[ -\frac{(\rho - \mu_{wv'1})^2}{2\sigma_{wv}^2} \right] \\
f_0(\rho) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{wv}^2}} \exp \left[ -\frac{(\rho - \mu_{wv'0})^2}{2\sigma_{wv}^2} \right] \quad (27)
\end{aligned}$$

与它们相应的曲线如图 3 所示.

当判决门限为  $\rho_{thr}$  时, 将“1”错判为“0”的漏警概率  $P_{e1}$  为:

$$\begin{aligned}
P_{e1} &= p(\rho < \rho_{thr}) = \int_{-\infty}^{\rho_{thr}} f_1(\rho) d\rho \\
&= \int_{-\infty}^{\rho_{thr}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{wv}^2}} \exp \left[ -\frac{(\rho - \mu_{wv'1})^2}{2\sigma_{wv}^2} \right] d\rho \\
&= \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left( \frac{N(\rho_{thr} - \frac{E_w}{N} - \mu_1 D_0)}{\sqrt{2E_w \sigma}} \right) \quad (28)
\end{aligned}$$

将“0”错判为“1”的虚警概率  $P_{e0}$  为:

$$\begin{aligned}
P_{e0} &= p(\rho > \rho_{thr}) = \int_{\rho_{thr}}^{\infty} f_0(\rho) d\rho \\
&= \int_{\rho_{thr}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{wv}^2}} \exp \left[ -\frac{(\rho - \mu_{wv'0})^2}{2\sigma_{wv}^2} \right] d\rho
\end{aligned}$$

$$= \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left( \frac{N(\rho_{thr} - \mu_1 D_0)}{\sqrt{2E_w \sigma}} \right) \quad (29)$$

其中  $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$  为误差函数.

$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2} dt$  为误差互补函数.

若取  $H_1$  的概率为  $P(1)$ , 取  $H_0$  的概率为  $P(0)$ , 则水印系统的总误码率可表示为:

$$P_e = P(1) P_{e1} + P(0) P_{e0} \quad (30)$$

由式(28)、(29)、(30)可以看出,  $P_e$  与门限  $\rho_{thr}$  的取值有关, 因此, 令  $\frac{dP_e}{d\rho_{thr}} = 0$ , 可求得使总误码率最小的最佳门限:

$$\rho_{thr}^* = \mu D_0 + \frac{E_w}{2N} + \frac{\sigma_{wv}^2 N}{E_w} \ln \frac{P(0)}{P(1)} \quad (31)$$

在  $P(0) = P(1) = \frac{1}{2}$  的情况下, 最佳门限简化为:

$$\rho_{thr}^* = \mu D_0 + \frac{E_w}{2N} \quad (32)$$

检测器总误码率为:

$$P_e = \frac{1}{2} P_{e1} + \frac{1}{2} P_{e0} = \frac{1}{2} [1 - \operatorname{erf} \left( \frac{\sqrt{E_w}}{\sqrt{8\sigma^2}} \right)] = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{\sqrt{E_w}}{\sqrt{8\sigma^2}} \right) \quad (33)$$

从式(33)可见, 水印检测系统的总误码率依赖于水印的总能量  $E_w$  和图像亮度方差  $\sigma^2$  之比, 而与采用何种水印、图像的大小及均值无关. 若比值  $E_w/\sigma^2$  越大, 则  $P_e$  就越小. 若事先确定了  $P_e$ , 则由式(33)和(12)推出水印序列的长度.

### 3.4 退化水印图像检测门限的确定

在某些数字水印应用领域, 如拷贝控制系统, 对虚警概率  $P_{e0}$  的要求更加严格. 而且水印图像经过各种有意或无意的攻击, 漏警概率  $P_{e1}$  要大于虚警概率  $P_{e0}$ , 如图 4 所示. 这是由于网络的有损传输或切割、缩放、有损压缩等操作丢失了水印图像的部分数据, 因此嵌在这些数据中的水印也随之丢失. 退化图像相关检测的统计特性仍然是高斯形的, 但这时的

$$E' \rho_w = \frac{1}{N} \sum_{n \in A} \hat{v}(n) w(n) < \frac{E_w}{N} \quad (34)$$

即门限向左移动, 因此应由给定的虚警概率  $P_{e0}$  反过来确定检测门限的大小. 假定水印的 DC 分量为 0, 退化图像检测变量的方差为  $\sigma_a^2$ , 则有  $P_{e0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{\rho}{\sqrt{2\sigma_a^2}} \right)$

$$\quad (35)$$

式(35)中, 由于  $\operatorname{erfc}(\cdot)$  单调递减, 在  $\sigma_a^2$  增大的情况下, 欲保持  $P_{e0}$  不变, 必须使检测门限  $\rho$  随之减小. 而目前大多数图像水印算法进行判决时, 不论水印图像经历了何种攻击方式, 都采用统一的检测门限, 引起虚警概率的增大<sup>[9, 10]</sup>. 由(35)得:

$$\rho = \sqrt{2\sigma_a^2} \cdot \operatorname{erfc}^{-1}(2P_{e0}) \quad (36)$$

其中:

$$\sigma_a^2 \approx \frac{1}{N^2} \sum_{n \in A} E[v'(n)^2] \quad (37)$$

这样由式(36)、(37), 可根据退化水印图像的统计特性和预定的虚警概率得出判决门限.

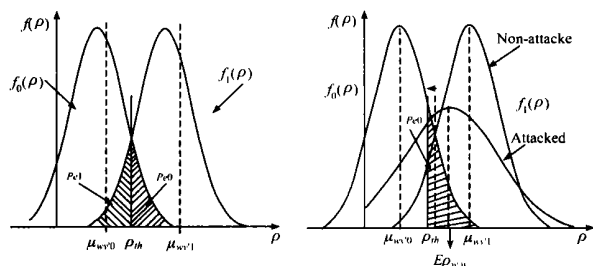


图 3 无攻击的水印相关检测概率密度曲线

图 4 退化图像的水印相关检测概率密度曲线

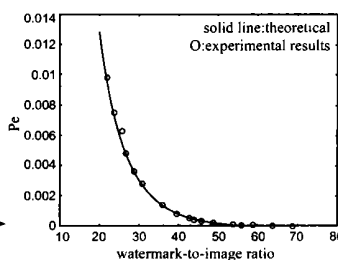


图 5 不同  $E_w/\sigma^2$  下的检测误码率的理论值与实测值

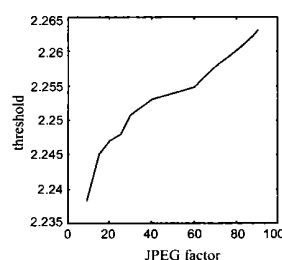


图 6 不同压缩参数、同一误码率下的判决门限

## 4 实验结果

实验中采用大小为  $256 \times 256$  的灰度图像 Barbara 进行测试, 均值  $\mu = 118.81$ , 方差  $\sigma^2 = 50.28$ . 我们采用 DC 分量为 0 的伪随机二值序列  $w(n) \in \{-1, 1\}$  作为被嵌水印. 按照 Bami 方法<sup>[7]</sup>, 在小波域按照式 (14) 用水印信息修改小波分解第一级细节子图的系数. 图 5 为在不同水印-图像能量比  $E_w/\sigma^2$  下, 水印相关检测错误概率的理论值与实测值. 可以看出二者非常吻合.

图 6 是水印图像进行退化处理 (JPEG 压缩) 后, 为保持  $10^{-6}$  的虚警概率而采用的判决门限. 可以看出: 压缩参数越小 (退化程度越大), 判决门限就越低, 从而验证了 3.4 节的论述.

## 5 总结

本文给出了水印的相关检测的统计模型, 将其作为高斯过程描述了图像水印能量、检测门限及水印检测器的误码率的关系, 对水印图像及退化图像相关检测的可靠性进行了理论分析, 并在实验中进行验证. 本文比较全面地解决了水印相关检测中的误码率估计及如何确定退化水印图像检测门限的问题. 利用本文结果, 可在水印嵌入前, 根据所期望的误码率决定应嵌入的水印能量, 继而确定水印序列的长度, 因此对水印嵌入算法的设计具有一定的指导意义; 同时, 对于退化的水印图像, 也可根据所期望的误码率确定判决门限. 因此本文对水印的相关检测可靠性分析具有一定的普遍性.

本文是以灰度图像为模型进行的讨论. 而目前大多数彩色图像的水印算法, 基本上是灰度图像水印算法的引伸, 如在彩色图像的亮度域或蓝色分量内添加水印, 然后检测水印是否存在该域内. 因此本文的方法对彩色图像的相关检测也具有一定的指导意义.

### 参考文献:

- [1] T Kalker, J P Linnartz, G Depovere, M Maes. On the reliability of detecting electronic watermarks in digital images [A]. Proc. of EUSIPCO'98, Ninth European Signal Processing Conference [C]. Rodos, Greece: 1998. 13-16.
- [2] I J Cox, J P M G Linnartz. Some general methods for tampering with watermarks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998; 16(4): 587-593.
- [3] I J Cox, J Killian, T Leighton, T Shamoon. Secure spread spectrum watermarking for images, audio and video [A]. Proc. of the IEEE Int.

- Conf. on Image Processing [C]. Lausanne, Switzerland: 1996. 243-246.
- [4] C Podilchuk, W Zeng. Image adaptive watermarking using visual models [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16(4): 525-540.
- [5] A Piva. Threshold selection for correlation based watermark detection [A]. Proc. COST254 Workshop on Intelligent Communications [C]. L'Aquila, Italy: 1998. 5-6.
- [6] Alexander Herrigel, Joe J K. O'Ruanailh, H Petersen, S Pereira, T Pun. Secure copyright protection techniques for digital images [A]. Int. Workshop on Information Hiding [C]. Portland, OR, USA: 1998.
- [7] M Barni, F Bartolini, V Cappellini, A Lippi, A Piva. A DWT-based technique for spatial frequency masking of digital signatures [A]. Proc. SPIE/IS&T International 20 Conference on Security and Watermarking of Multimedia Contents [C]. San Jose: 1999.
- [8] 刘瑞祯, 谭铁牛. 水印能量估计的一般性框架 [J]. 计算机学报, 24(3): 242-246.
- [9] S Graver, N Memon, B-L Yeo, M M Yeung. Resolving rightful ownership with invisible watermarking techniques: Limitations, attacks and implications [J]. IEEE J Select. Areas Comm, 1998, 16(4): 573-586.
- [10] A Piva, M Barni, F Bartolini. Det based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original image [A]. Proc. of ICIP'97 [C]. Atlanta, USA: 1997. I, 520-523.

### 作者简介:



刘 影 女, 1975 年 11 月 16 日出生于吉林省吉林市, 2000 年毕业于兰州铁道学院, 获通信与信息系统硕士学位, 现为北方交通大学信息科学研究所博士研究生, 主要从事多媒体信息安全、数字信号处理方面的研究.



裴正定 男, 1944 年 2 月 22 日出生于浙江嵊县, 北方交通大学信息科学研究所教授, 博士生导师, 中国通信学会会员, 研究领域为信号与信息处理、多媒体通信及 IP 网络技术, 并承担和主持包括自然科学基金和国家“863”计划项目在内的多项科研及产品的开发.