

基于叠加嵌入的码分多址数字水印信道性能分析

谷利民^{1),2)} 方艳梅¹⁾ 黄继武¹⁾

¹⁾(中山大学信息科学与技术学院 广州 510275)

²⁾(中国建设银行北京开发中心 北京 100055)

摘 要 由于CDMA具有的优良特性,人们在数字水印中引入CDMA技术,以改善水印稳健性.但是,在目前的CDMA水印研究中,存在如下问题:嵌入强度一般是依靠经验来确定的.注意到水印信道中对不可觉察性的要求(通过PSNR度量),该文给出了CDMA数字水印中应用叠加嵌入模型时PSNR值的计算表达式,给出了嵌入强度的估算方法,得出了信道误码率表达式,并分析了保持PSNR值情况下扩频正交码码长对于误码率的影响.得出如下结论:在水印比特数、PSNR值不变的情况下,正交码码长的选择不影响水印检测误码率.

关键词 数字水印;CDMA;水印信道;叠加嵌入

中图法分类号 TP391

Performance Analysis of CDMA Watermarking Channel Using Additive Embedding

GU Li-Min^{1),2)} FANG Yan-Mei¹⁾ HUANG Ji-Wu¹⁾

¹⁾(School of Information Science and Technology, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275)

²⁾(Beijing Research and Development Center, China Construction Bank, Beijing 100055)

Abstract Due to its advantages, CDMA technologies are introduced into digital watermarking to improve watermark robustness. However, there exists the problem that the embedding strength is usually determined by experience. Noticing the imperceptibility constraint (measured by PSNR) on watermarking, in this paper, the authors present the calculation expression of PSNR in case of CDMA watermarking. The expression for estimating the embedding strength is derived. Furthermore, they analyze the relationship between spread code length and the bit error rate of watermark, keeping the PSNR constant. As a conclusion, keeping the length of watermark bits and PSNR constant, the choice of orthogonal spreading code does not influence the bit error rate of watermark.

Keywords digital watermarking; CDMA; watermark channel; additive embedding

1 引 言

通过把数字水印看作一个通信问题,人们把通信方法引入到数字水印中^[1].在无线通信中,CDMA(Code Division Multiple Access)系统有很多优点,

比如:可多址复用,容量大,保密性好,抗干扰能力强,抗噪声等. CDMA技术用给定的伪随机编码调制用户数据,实现码分多址,按编码分配用户.能够构造多少个完全正交的扩频码,最大用户数就是多少.它的答案与数学的编码问题有关^[2].利用CDMA技术还可以有效地保证数字水印的稳健性和安全性^[3].

收稿日期:2004-06-09;修改稿收到日期:2004-10-28.本课题得到国家自然科学基金重点项目(60133020)、国家自然科学基金(60172067)、国家杰出青年基金(60325208)、广东省自然科学基金团队项目(04205407)、教育部跨世纪优秀人才基金和教育部博士点基金(20020558038)资助.谷利民,男,1975年生,博士,主要研究方向为信息隐藏与数字水印技术.方艳梅,女,1966年生,博士,现主要从事图像数字水印、多媒体信号处理与通信等方面的工作.黄继武,男,1962年生,博士,教授,博士生导师,目前主要研究方向为多媒体信息安全. E-mail: issbjw@zsu.edu.cn.

Ruanaidh 等^[4]提出采用 DS-CDMA 形式将水印信息以字符序列的形式扩频到 m 序列上,再进行 CDMA 扩频编码,然后把编码后的水印信息嵌入到图像 DCT(Discrete Cosine Transform)变换域;Silvestre 等^[5]把 CDMA 技术应用于 DFT(Discrete Fourier Transform)域水印;Kohda 等^[6]在彩色图像水印中应用了 CDMA 技术;Vassaux 等^[7]在空域水印中引入了 CDMA 技术;文献[8,9]在视频水印中采用了 CDMA 技术。

但是,目前基于 CDMA 水印嵌入算法基本都是通过实验的方式来确定嵌入强度以及相关参数,并且对 CDMA 水印系统性能方面的研究还比较少。

本文在经典的叠加嵌入方式和线性相关检测水印模型下展开了如下工作:(1)导出了 CDMA 数字水印中 PSNR 值的计算表达式;(2)推导出嵌入强度的估算方法,并分析了计算精度;(3)得出了信道误码率表达式,并分析了保持 PSNR 值情况下扩频正交码码长对于误码率的影响。

本文第 2 节介绍本文使用的水印系统模型;第 3 节分析了水印信道误码率;在第 4 节中分析了 CDMA 水印参数的选取准则;最后一节给出了本文的结论。

2 CDMA 水印系统模型

从有 I 个元素的正交码集 G' ($G' = \{g_k(n) | n = 1, 2, \dots, N, k = 1, 2, \dots, I\}$) 中选取 K 个正交码构成许用码组 G ($G = \{g_k(n) | n = 1, 2, \dots, N, k = 1, 2, \dots, K\}$), 依据某种规则,在 CDMA 水印系统中我们为每个用户分配一个扩频码。

设水印比特序列 B 为双极性的,它有 R 个元素, $B = \left\{ b_{k,i}(j) \mid k = 1, 2, \dots, K, j = 1, 2, \dots, \frac{R}{K} \right\}$ 。其中, $b_{k,i}(j) \in \{-1, +1\}$ 表示用第 k 个用户所传输的第 j 个水印比特。

应用 CDMA 编码后,水印信号为 $C = \{c_i\}$,且 c_i 满足如下关系:

$$c_i = \sum_{k=1}^K b_{k,i} g_k, \quad i = 1, 2, \dots, \frac{R}{K} \quad (1)$$

其中, g_k 为集合 G 的第 k 个元素,即第 k 个用户的扩频码。因此, c_i 是 N 维向量。

CDMA 编码以如下方式修改载体变换域系数,从而实现水印嵌入:

$$c_i^{(w)} = c_i^{(0)} + \alpha c_i, \quad i = 1, 2, \dots, \frac{R}{K} \quad (2)$$

其中, $C_0 = \{c_i^{(0)}\}$ 为载体变换域系数组成的向量, $C_w =$

$\{c_i^{(w)}\}$ 则是对 C_0 修改的结果, $C = \{c_i\}$ 是 CDMA 编码后的水印信号, α 为水印信号的嵌入强度。

在数字水印系统中,检测端的输入为 $C_{w_n} = C_w + n_0$,它是嵌入端输出 C_w 叠加性噪声 n_0 后产生的结果。 $C_{w_n} = \{c_i^{(w_n)}\}$, 其中, $c_i^{(w_n)} = c_i^{(w)} + n_0$, $i = 1, 2, \dots, \frac{R}{K}$ 。

依据正交序列的互相关函数特性,我们用如下判别公式来检测水印比特。

$$b'_{k,i} = \begin{cases} +1, & \eta_{k,i} > \tau \\ -1, & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

其中, $\eta_{k,i} = \frac{1}{N} (c_i^{(w_n)} \cdot g_k) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N c_i^{(w_n)}(n) g_k(n)$, $i = 1, 2, \dots, \frac{R}{K}$ 。 $b'_{k,i}$ 为检测到的第 k 个用户的第 i 个水印比特, τ 为判决门限。对于正交码,可以令 $\tau = 0$,但是,为了改善水印稳健性,一般 τ 都选择稍大于 0 的值。

水印检测为盲检测,在本文的实验中,我们选择水印的工作频带为中频。

3 CDMA 水印的信道误码率分析

3.1 误码率估计

由于信道噪声 n_0 ($n_0 \sim N(0, \sigma^2)$) 的存在,水印信息可能发生误码。信道误码率为

$$p_e = P\{\eta_{k,i} \leq \tau | b_{k,i} = +1\} P\{b_{k,i} = +1\} + P\{\eta_{k,i} > \tau | b_{k,i} = -1\} P\{b_{k,i} = -1\} \quad (4)$$

不失一般性,可假设水印比特服从贝努利分布,且 $P\{b_{k,i} = +1\} = P\{b_{k,i} = -1\} = \frac{1}{2}$ 。这可以通过随机交织来实现。于是,上式演变为

$$p_e = \frac{1}{2} [P\{\eta_{k,i} \leq \tau | b_{k,i} = +1\} + P\{\eta_{k,i} > \tau | b_{k,i} = -1\}] \quad (5)$$

另一方面, $c_i^{(w_n)} = c_i^{(w)} + n_0$, 可把 $c_i^{(w_n)}$ 看作高斯分布, $c_i^{(w_n)} \sim N(c_i^{(w)}, \sigma^2)$ 。对于第 k 个用户来说, g_k 是已知的,于是, $\eta_{k,i} = \frac{1}{N} (c_i^{(w_n)} \cdot g_k)$ 也服从高斯分布, $\eta_{k,i} \sim N\left(\frac{1}{N} (c_i^{(w)} \cdot g_k), \frac{\sigma^2}{N}\right)$ 。

对于 $\eta_{k,i}$ 的均值有下式成立:

$$\frac{1}{N} (c_i^{(w)} \cdot g_k) = \frac{1}{N} (c_i^{(0)} \cdot g_k) + \frac{1}{N} (\alpha c_i \cdot g_k) \quad (6)$$

其中, $c_i^{(0)}$ 为载体变换域系数,可看作服从均值为零的概率分布(比如,高斯分布、Laplace 分布等),于是, $\frac{1}{N} (c_i^{(0)} \cdot g_k)$ 可看作近似为零。这样,上式可写为

$$\frac{1}{N}(\mathbf{c}_i^{(w)} \cdot \mathbf{g}_k) \approx \frac{1}{N}(\alpha \mathbf{c}_i \cdot \mathbf{g}_k) = \begin{cases} \alpha, & b_{k,i} = +1 \\ -\alpha, & b_{k,i} = -1 \end{cases} \quad (7)$$

也就是说,对于 $b_{k,i} = +1$ 的情况, $\eta_{k,i} \sim N\left(\alpha, \frac{\sigma^2}{N}\right)$;

对于 $b_{k,i} = -1$ 的情况, $\eta_{k,i} \sim N\left(-\alpha, \frac{\sigma^2}{N}\right)$.

于是,式(5)可写为

$$p_e = \frac{1}{2\sigma} \sqrt{\frac{N}{2\pi}} \int_{-\infty}^{\tau} \exp\left\{-\frac{N(x-\alpha)^2}{2\sigma^2}\right\} dx + \frac{1}{2\sigma} \sqrt{\frac{N}{2\pi}} \int_{\tau}^{+\infty} \exp\left\{-\frac{N(x+\alpha)^2}{2\sigma^2}\right\} dx \quad (8)$$

简化上式得

$$p_e = \frac{1}{2} Q\left(\frac{\sqrt{N}(\alpha-\tau)}{\sigma}\right) + \frac{1}{2} Q\left(\frac{\sqrt{N}(\alpha+\tau)}{\sigma}\right) \quad (9)$$

显然, $\tau < \alpha$,否则,即使在没有噪声的情况下,都无法准确解码。

可以看到,信道误码率 p_e 和用户数 K 没有关系,只是和水印嵌入强度 α 、噪声功率 σ^2 、正交码码长 N 有关系。

一般的, τ 值比较小,接近于零。为了简化分析,我们令 $\tau = 0$ 。于是,信道误码率为

$$p_e = Q\left(\frac{\alpha\sqrt{N}}{\sigma}\right) \quad (10)$$

虽然,上述结论是在线性相关检测情况下得到的,但是,容易推广到归一化相关检测的情况。

3.2 PSNR 值估计

假设水印嵌入时,使用如下公式:

$$\mathbf{c}_i^{(w)} = \mathbf{c}_i^{(0)} + \alpha \mathbf{c}_i, \quad i=1,2,\dots,\frac{R}{K} \quad (11)$$

其中, $\mathbf{C}_0 = \{\mathbf{c}_i^{(0)}\}$ 为载体变换域系数组成的向量, $\mathbf{C}_w = \{\mathbf{c}_i^{(w)}\}$ 则是对 \mathbf{C}_0 修改的结果, $\mathbf{C} = \{\mathbf{c}_i\}$ 是 CDMA 编码后的水印信号, α 为水印信号的嵌入强度。

根据文献[10]中,关于酉变换水印 PSNR 值计算的有关内容,对于给定的 PSNR 值 T_{PSNR} ,有如下关系成立:

$$\begin{aligned} T_{\text{PSNR}} &\leq 20 \log_{10} \frac{b_m \sqrt{L_1 L_2}}{\sqrt{\sum_i \alpha^2 \|\mathbf{c}_i\|^2}} \\ &= 20 \log_{10} \frac{b_m \sqrt{L_1 L_2}}{\sqrt{\alpha^2 \sum_i \sum_n \mathbf{c}_i^2(n)}} \end{aligned} \quad (12)$$

其中, $i=1,2,\dots,\frac{R}{K}$, $n=1,2,\dots,N$,图像尺寸为 $L_1 \times L_2$, b_m 为图像中的最大灰度值, α 为水印信号的嵌入强度, $\mathbf{c}_i = \left\{c_i(n) \mid n=1,2,\dots,N, i=1,2,\dots,\frac{R}{K}\right\}$,

$\alpha c_i(n)$ 为对每个变换域系数作的改动。

由式(1)可知,

$$c_i(n) = \sum_{k=1}^K b_{k,i} g_k(n), \quad i=1,2,\dots,\frac{R}{K}, n=1,2,\dots,N \quad (13)$$

上式中,对于第 k 个用户的数据来说,扩频码 $g_k(n) \in \{-1, +1\}$ 是已知的,只有 $b_{k,i}$ 是随机的。不失一般性,仍然把 $b_{k,i} \in \{-1, +1\}$ 看作服从等概率贝努利分布,它的均值和方差分别为: $E\{b_{k,i}\} = 0$, $\text{var}\{b_{k,i}\} = 1$ 。依据 Linderberg-Levy 定理,多个独立同分布的随机变量之和可用高斯分布来近似^[11]。于是, $c_i(n)$ 服从高斯分布, $c_i(n) \sim N(0, K)$ 。

于是,可把 $\{c_i^2(n)\}$ 看作是互相独立的随机变量序列,它们服从相同的分布,且具有有限的数学期望 $E\{c_i^2(n)\} = \text{var}\{c_i(n)\} + (E\{c_i(n)\})^2 = K$,依据辛钦大数定理^[12],对于任意的 ϵ ,有下式成立:

$$\lim_{\frac{RN}{K} \rightarrow \infty} P\left\{\left|\frac{K}{RN} \sum_{i=1}^{\frac{R}{K}} \sum_{n=1}^N c_i^2(n) - E\{c_i^2(n)\}\right| < \epsilon\right\} = 1 \quad (14)$$

这样, $\sum_{i=1}^{\frac{R}{K}} \sum_{n=1}^N c_i^2(n)$ 就可以用下式来近似:

$$\sum_{i=1}^{\frac{R}{K}} \sum_{n=1}^N c_i^2(n) = \frac{RN}{K} E\{c_i^2(n)\} = RN \quad (15)$$

当 $\frac{RN}{K} \rightarrow \infty$ 时,上式以概率 1 成立。把它代入式(12),得

$$T_{\text{PSNR}} \leq 20 \log_{10} \frac{b_m \sqrt{L_1 L_2}}{\sqrt{\alpha^2 RN}} \quad (16)$$

从上式可以看出,PSNR 值将只与水印信息比特数 R 、CDMA 扩频码码长 N 、水印嵌入强度 α 有关,而与所使用的用户数 K 没有关系。

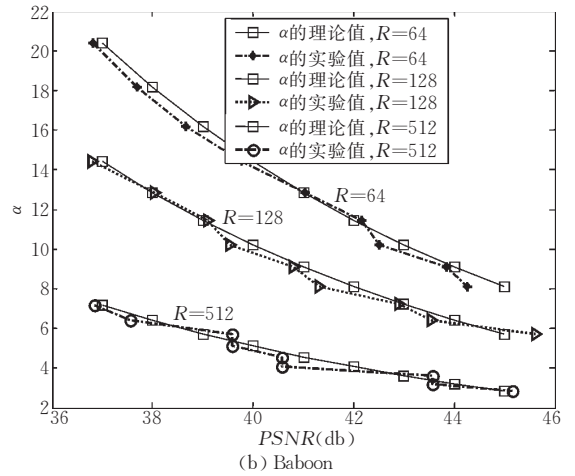
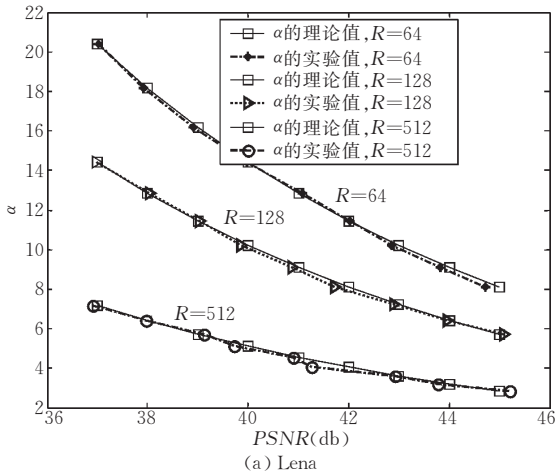
4 CDMA 水印参数

4.1 嵌入强度估计

在给定水印信息比特数 R 、扩频码长 N 和图像尺寸的情况下,由式(16)可知,嵌入强度与 PSNR 值满足如下关系:

$$\alpha = \frac{b_m \sqrt{L_1 L_2}}{\sqrt{RN}} 10^{-\frac{T_{\text{PSNR}}}{20}} \quad (17)$$

这里我们分别使用 256×256 的灰度图像“Lena”和“Baboon”作为测试图像,水印比特数分别为 $R = 64, 128, 512$, Walsh 码作为正交扩频码,码长为 $N = 32$,用户数为 $K = 16$,使用“db1”小波的 HL2 子带作为工作频带,图 1 是实验值与理论值比较的结果。可以看出,嵌入强度的理论值与实际值比较吻合。

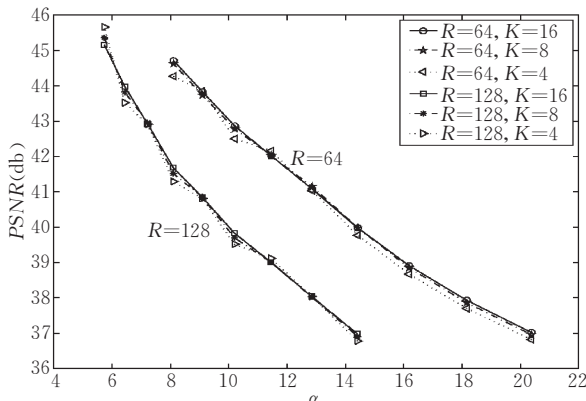
图 1 嵌入强度 α 的理论值与实际值的关系

4.2 用户数分析

CDMA 技术应用于数字水印时, 一个重要的问题就是用户数 K 的确定, 因为 K 的大小直接关系着图像的局部失真, 那么, 自然的就有一个问题: K 的大小与 PSNR 值有没有关系?

从式(16)可看出, PSNR 值与用户数 K 的大小没有关系, 这一点可以解释为: 图像的 PSNR 值衡量的是由嵌入水印而引起的图像失真, 它规定了水印信号的总能量的大小, 但是, PSNR 值与水印能量的分布方式没有关系, 也就是说, 只要水印能量保持不变, 那么, 不管水印嵌入会改变多少个变换域系数, 其 PSNR 值都不会改变, 这意味着, 用户数 K 的变化将不影响 PSNR 值的大小, 这可以通过实验来证实。

图 2 中, 用 256×256 的灰度图像“Lena”作为测试图像, 水印比特数分别为 $R=64, 128$, 平衡 Gold 码作为扩频码, 码长为 $N=32$, 使用“db1”小波的 HL2 子带作为工作频带, 在实验中, 因为码长为 32 的平衡 Gold 码共有 16 个, 而且, 为了实现的方便, 我们要求 $\frac{R}{K}$ 为整数, 因此, 选择用户数分别为 $K=4, 8, 16$ 。从图 2 中的实验数据可看出, 用户数与

图 2 用户数 K 与 PSNR 值之间的关系(水印比特数 $R=128$, 码长 $N=32$, 用户数分别为 $K=4, 8, 16$)

PSNR 值之间没有直接联系。

4.3 扩频码长

这里, 我们分析在给定 PSNR 值的情况下, 嵌入强度、扩频码长和信道误码率三者之间的关系。

依据式(10), 信道误码率 p_e 是关于嵌入强度 α 、扩频码长 N 的函数。 α 的增大有助于降低信道误码率, 同样的, 正交码长 N 的增大也有助于降低信道误码率, 即这两个方法都可以改善水印的稳健性, 事实上, 在数字水印的研究中, 人们更关心在给定视觉失真(用 PSNR 度量)范围内, 如何设计最佳水印方案? 这就涉及到水印嵌入强度 α 、扩频码类型及其码长 N 的选择策略。

当水印信息比特数 R 、PSNR 值、原始图像都给定时, 依据式(16), 对于不同的 α 和 N 有如下关系成立:

$$\alpha_1 \sqrt{N_1} = \alpha_2 \sqrt{N_2} \quad (18)$$

其中, α_1, N_1 和 α_2, N_2 分别对应不同扩频编码方案的嵌入强度和扩频码码长。

再考虑到式(10), 可知: 当水印信息比特数 R 、PSNR 值、原始图像都给定时, 对于高斯噪声来说, 不同码长的扩频编码方案有相同的信道误码率。

这里, 我们的实验使用“Lena”, “Baboon”, “Fishboat”和“Pepper”图像作为测试图像, 它们都是 256×256 的灰度图像, 分别具有不同的纹理复杂性, 我们使用“db1”小波的 HL2 子带作为工作频带, PSNR 值选择为 40.17db, 正交扩频码选择常见的 Walsh 码, 其码长分别为 $N=32, 64, 128$ 。 Walsh 码是一种由哈达玛矩阵生成的正交码, 利用这样的矩阵, 可以生成任意 $2^n \times 2^n$ (n 为正整数) 的正交 Walsh 码, 正是由于这一点, 我们才选择 Walsh 码来验证我们的分析, 我们令水印比特数为 $R=128$, 用户数为 $K=16$, 这样就同时保证了实验的简单性和典型性, 在对水印作线性相关检测时, 我们使用的判决门限为 $\tau=0$ 。

从图 3 的实验结果可看出:对于高斯噪声和 JPEG 压缩来说,在给定 PSNR 值的情况下,采用码长更长的扩频码并不能改善水印的稳健性.这就支持了上面的分析.在图 3(d)和图 3(h)中,当 $N=32$ 时,因为载体图

像自身的统计特性影响了水印的性能,使得误码率比较高,不过,和其它码长的情况相比误码率之间的差别并不大.从统计意义上讲,对于水印系统来说,这种影响是可以忽略的.

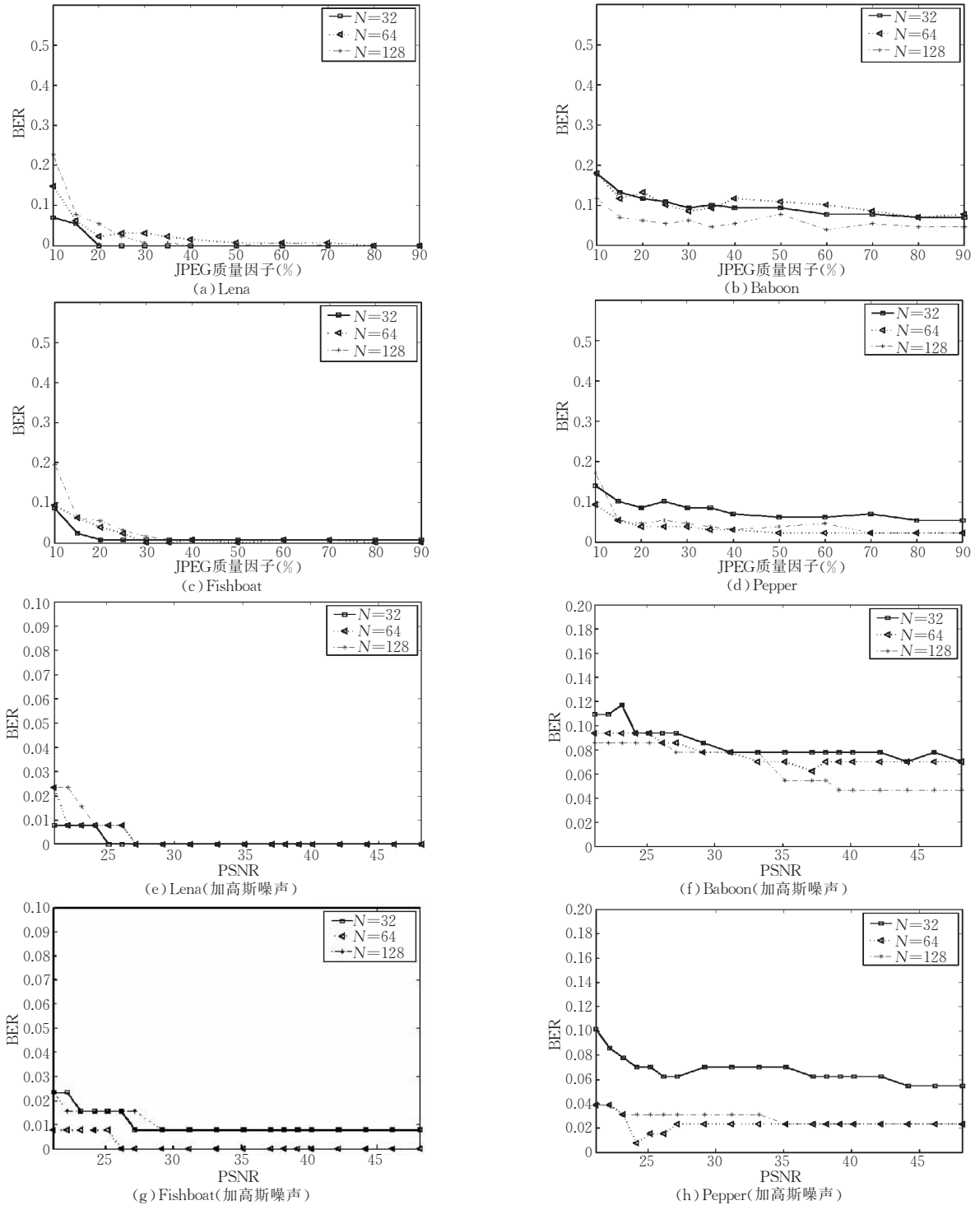


图 3 误码率与扩频码码长之间的关系:(a)~(d)为 JPEG 压缩情况下的误码率性能;(e)~(h)为高斯噪声情况下的误码率性能

5 结 论

在无线通信中,CDMA 系统有很多优点,比如:

可多址复用、容量大、保密性好、抗干扰能力强、抗噪声等.通过把数字水印看作一个通信问题,人们把 CDMA 技术引入到数字水印中.但是,目前基于 CDMA 扩频叠加的水印嵌入算法基本都是通过实

验的方式来确定嵌入强度以及相关参数,并且对 CDMA 水印系统性能方面的研究还比较少。

本文的工作如下:

(1)分析了基于 CDMA 叠加嵌入情况下的 PSNR 值、嵌入强度 α 、正交码码长 N 以及用户数 K 之间的关系,给出了关于这三者的显式表达式,并分析了它的精确度。

(2)根据 PSNR 值的表达式,给出了水印嵌入强度 α 的估计算法,并且仿真实验的结果表明:这个估计是比较准确的;

(3)根据 PSNR 值的表达式,得出:CDMA 水印信道中,用户数不影响 PSNR 值的大小。而且,实验结果有力地支持了这个结论。

(4)通过仔细分析 CDMA 水印信道的误码形成过程,给出了信道误码率表达式,并得出如下结论:在给定 PSNR 值的情况下,CDMA 正交扩频码码长 N 的选择不影响信道误码率值。

参 考 文 献

- 1 Cox I. J., Miller M. L., Bloom J. A.. Digital Watermarking. London: Academic Press, 1999
- 2 Zhu Jin-Kang. CDMA Communication Technology. Beijing: People's Post & Telecommunications Press, 2001(in Chinese) (朱近康. CDMA 通信技术. 北京:人民邮电出版社, 2001)
- 3 Fang Yan-Mei, Huang Ji-Wu. Image watermarking algorithm applying CDMA. In: Proceedings of the 2003 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Bangkok, Thailand. IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, 2003, 2: 948~951
- 4 Ruanaidh J. J. K., Pun Thierry. Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking. Sig-

- nal Processing, 1998, 66(3): 303~317
- 5 Silvestre G. C. M., Dowling W. J.. Embedding data in digital images using cdma techniques. In: Proceedings of 2000 IEEE International Conference on Image Processing, Vancouver, Canada, 2000, 1: 589~592
- 6 Kohda T., Ookubo Y., Shinokura K.. Digital watermarking through CDMA channels using spread spectrum techniques. In: Proceedings of IEEE 6th International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, Parsippany, NJ, USA, 2000, 2: 671~674
- 7 Vassaux B., Bas P., Chassery J.-M.. A new CDMA technique for digital image watermarking enhancing capacity of insertion and robustness. In: Proceedings of 2001 IEEE International Conference on Image Processing, Thessalonica, Greece, 2001, 3: 983~986
- 8 Bijan G. M.. Exploring CDMA for watermarking of digital video. In: Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 1999, 3657: 96~102
- 9 Bijan G. M.. Direct sequence watermarking of digital video using m-frames. In: Proceedings of 1998 IEEE International Conference on Image Processing, Chicago, Illinois, USA, 1998, 2: 399~403
- 10 LIU Rui-Zhen TAN Tie-Niu. A General Watermarking Framework for Optimal Energy Estimation. Chinese Journal of Computers, 2001, 24(3): 242~246(in Chinese) (刘瑞祺, 谭铁牛. 水印能量估计的一般性框架. 计算机学报, 2001, 24(3): 242~246)
- 11 Wei Zong-Shu. Probability and Statistics. Beijing: Higher Education Press, 1983(in Chinese) (魏宗舒. 概率论与数理统计教程. 北京:高等教育出版社, 1983)
- 12 Sheng Zhou, Xie Shi-Qian, Pan Cheng-Yi. Probability and Statistics. Beijing: Higher Education Press, 1989(in Chinese) (盛骤, 谢式千, 潘承毅. 概率论与数理统计. 北京:高等教育出版社, 1989)



GU Li-Min, born in 1975, Ph. D.. His research interests include information hiding and digital watermarking.

FANG Yan-Mei, born in 1966, Ph. D.. Her research interests include image processing, information hiding and image watermarking.

HUANG Ji-Wu, born in 1962, Ph. D., professor, Ph. D. supervisor. His research interests include multimedia security.

Background

This project is supported by the National Natural Science Foundation of China under grant Nos. 60325208, 60133020, 60172067, National Natural Science Foundation of Guangdong under grant No. 04205407, and Funding of China National Ministry of Education. The project is mainly focused on the robustness and security of image, audio and video digital watermarking.

To improve watermarking robustness, many approaches

of communication have been used, including ECC, Spread Spectrum, CDMA, and so on. However, the parameters of such systems were mainly derived by experiments, and the relationships between robustness and these parameters are still in question.

Attempting to resolve the problem, the authors have conducted a series of work. This paper presents the analysis on the factors affecting the robustness of CDMA watermarking.